

# Onderzoek naar een economische exploitatie van het golfenergiepotentieel in de Noordzee m.b.v. ArcGIS

Ine Ydens, Vincent Meirschart

Promotoren: prof. dr. ir. Julien De Rouck, prof. dr. ir. Hendrik Van Landeghem  
Begeleider: ir. Charlotte Beels

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van  
Burgerlijk bouwkundig ingenieur

Vakgroep Civiele techniek  
Voorzitter: prof. dr. ir. Julien De Rouck

Vakgroep Technische bedrijfsvoering  
Voorzitter: prof. dr. ir. Hendrik Van Landeghem

Faculteit Ingenieurswetenschappen  
Academiejaar 2007-2008





# Onderzoek naar een economische exploitatie van het golfenergiepotentieel in de Noordzee m.b.v. ArcGIS

Ine Ydens, Vincent Meirschaert

Promotoren: prof. dr. ir. Julien De Rouck, prof. dr. ir. Hendrik Van Landeghem  
Begeleider: ir. Charlotte Beels

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van  
Burgerlijk bouwkundig ingenieur

Vakgroep Civiele techniek  
Voorzitter: prof. dr. ir. Julien De Rouck

Vakgroep Technische bedrijfsvoering  
Voorzitter: prof. dr. ir. Hendrik Van Landeghem

Faculteit Ingenieurswetenschappen  
Academiejaar 2007-2008



# Dankwoord

Graag zouden we iedereen willen bedanken die heeft bijgedragen tot de verwezenlijking van de scriptie. Een eerste woord van dank gaat uit naar prof. dr. ir. J. De Rouck en prof. dr. ir. H. Van Landeghem voor hun professionele raad en bijdrage aan de thesis.

We zouden ook graag ir. C. Beels speciaal willen bedanken voor haar wekelijkse steun en constructieve bijdrage bij het berekenen van de verkregen resultaten en bij het schrijven van de thesis. We willen ook ir. P. Mathys bedanken voor de raad en steun bij de uitvoer van de ArcGIS-analyse.

Tot slot zouden we ir. F. Meuleman en ir. G. Magerman willen bedanken bij de schatting van de kostprijzen en informatie over elektriciteit. Ook de mensen van Pauwels Transformatoren willen we bedanken voor hun medewerking bij het schatten van de kostprijzen.

Ine en Vincent

Graag had ik Vincent bedankt voor de samenwerking gedurende dit jaar. Verder wil ik ook mijn ouders, broer en zus bedanken voor hun steun en warmte. En zeker mijn vriend Danny, die altijd mijn steun en toeverlaat is geweest en me doorheen alle moeilijke momenten heeft geholpen.

Ine

Tot slot zou ik Ine en Danny willen bedanken voor hun niet-aflatende inzet bij de verwezenlijking van de thesis. Een speciaal woord van dank gaat ook uit naar mijn ouders en zus voor de steun die ze me niet enkel dit jaar maar reeds altijd hebben gegeven. Voorts wens ik nog mijn familie, vrienden en kennissen te bedanken voor de warme jaren.

Vincent



# Toelating tot bruikleen

De auteurs geven de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

Juni 2008

Ine Ydens

Vincent Meirschart

**Universiteit Gent**  
**Faculteit Toegepaste Wetenschappen**

*Vakgroep Civiele Techniek*

Voorzitter: prof. dr. ir. J. De Rouck

*Vakgroep Technische Bedrijfsvoering*

Voorzitter: prof. dr.ir. H. Van Landeghem

Academiejaar: 2007-2008

Titel: Onderzoek naar een economische exploitatie van het golfenergiepotentieel van de Noordzee m.b.v. ArcGIS

Auteurs: Ine Ydens en Vincent Meirschaert

Promotors : prof. dr. ir. J. De Rouck  
prof. dr.ir. H. Van Landeghem

Begeleider: ir. C. Beels

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk bouwkundig ingenieur.

Samenvatting

Deze scriptie behandelt de locatiebepaling van een golfenergieconvector(park) op basis van een multi-criteria GIS-analyse. Er wordt een locatie bepaald voor drie types golfenergieconvertoren: een park van Pelamissen, een prototype van de Seawave Slot-cone Generator en een 1:4,5 schaalmodel van de Wave Dragon.

Een gevoeligheidsanalyse wordt toegepast op de belangrijkste invloedsfactoren van de locatie. Het studiegebied omvat het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat. Er wordt vastgesteld dat twee groepen van invloedsfactoren kunnen onderscheiden worden: een groep factoren die een afstand ver van de kust verkiezen en een groep factoren die de voorkeur geven aan een dichte locatie. Als het gewicht van de verre factoren groter is dan 0,7 keer het gewicht van de nabije factoren, behalen de verre locaties een hogere quotering.

Nadat een ideale locatie is vastgelegd wordt overgegaan tot een haalbaarheidsstudie. De haalbaarheidsstudie bepaalt de netto actuele waarde (NAW of NPV) van de investering en laat toe te besluiten of de exploitatie van golfenergie rendabel is. Een variatie op de NPV wordt beschouwd voor de belangrijkste invloedsfactoren (de elektriciteitsprijs, het leereffect en de discontovoet).

Als resultaat wordt een belangrijke invloed van de diffractie en van het aantal maximaal te plaatsen toestellen op een lengte loodrecht op de meest energetische golfrichting vastgesteld. De NPV is voor de drie toestellen steeds negatief en laat toe te besluiten dat golfenergie niet mogelijk is met de bestaande subsidies.

Trefwoorden:

Multi-criteria analyse, leereffect, NPV, option analysis, golfenergie

# Investigation of an economic Exploitation of the Wave Energy Potential in the North Sea by Means of ArcGIS.

Ine Ydens, Vincent Meirschaert

Supervisors: prof. dr. ir. J. De Rouck, prof. dr. ir. H. Van Landeghem, ir. C. Beels

**Abstract**—This article investigates via a GIS-based multi-criteria decision analyses convenient locations on the Belgian, Dutch and German Continental Shelf (BCS, DCS and GCS) for the exploitation of wave energy. As the selection of a location for wave energy conversion is device dependent, three different types of Wave Energy Converters (WECs) in different stages of technology are considered in this study: farm of Pelamises, a single prototype of the Seawave Slot-Cone Generator (SSG) and a 1:4,5 scale model of the Wave Dragon. After performing a multi-criteria analysis for each case and selecting a location for possible installation, an economic assessment has been made.

**Keywords**— GIS-based multi-criteria decision analysis, learning effect, NPV, option analysis, wave energy

## I. INTRODUCTION

The increasing demand of energy together with the global concern of the rising emission of greenhouse gases makes the use of renewable energy resources more significant. Wave energy is a renewable energy resource with a global rising importance. Wave energy has lot of advantages: minimal visual impact, high energy density, small impact on the environment in comparison to other renewable energy resources and waves are always present [1], [2].

The Belgian, Dutch and German Continental Shelf contain a lot of unexploited wave power ranging from 0 to 20 kW per m of wave crest [3].

A study by use of ArcGIS is needed to examine the best location for wave energy exploitation and to determine whether investing in wave energy on the BCS, DCS or GCS is currently interesting or not.

## II. ARCGIS

### A. Related ArcGIS Problem

The studied area is approximately 100.600 km<sup>2</sup>. Initially conflicts with other uses of the area have to be avoided (military practice areas, shipping routes, Ramsar areas, ...). The remaining zones have to be weighed against each other in different respects (available wave power, distance to the existing grid, available depth, ...) to determine the best location for wave energy exploitation. This problem is a typical GIS problem and can be solved by the use of ArcGIS [4].

I. Ydens is a civil engineering student, Ghent University (UGent), Gent, Belgium. E-mail: Ine.Ydens@UGent.be.

V. Meirschaert is a civil engineering student, Ghent University (UGent), Gent, Belgium. E-mail: Vincent.Meirschaert@UGent.be

### B. Creating a Model to determine the ideal Location

Firstly, all the areas which cannot be used have to be excluded by the means of constraints [4], [5]. Secondly factors are being examined which influence the choice of a location (Table 1). Each factor is given a global weight between 0 and 100. Within each factor a score is attributed which also varies from 0 to 100. Table 1 gives the used weights for the Pelamis and an example for the scores of the distance to the nearest harbour.

Table 1 Weights and scores for the Pelamis.

Factor	Weight [-]	Distance to grid [km]	Score [-]
Produced Power	38	10	100
Distance to grid	20	30	95
Dist. to harbour	10	50	90
Dist. to shore	12	70	85
Depth	2	100	77
Geology	6	200	51
Extr. conditions	9	300	26
Monthly variation	3	400	0

Once every weight and score is ascribed, an ArcGIS model can be built to calculate the best area to install a wave energy farm of Pelamises. The maximum total score a location can have is 10.000, the minimum is zero. All the calculations are based on \*.shp files.

### C. Results of the ArcGIS Analysis

Figure 1 gives the results of the ArcGIS analysis. The two best locations (i.e. area 1 and 2) for wave energy exploitation are situated near the buoy Fino on the GCS (total score > 8.000). Some areas on the DCS also score very well. Area 3 (Figure 1) has a score of 7.750. The Belgian Continental Shelf is not suitable for installation of a wave energy farm of Pelamises. The maximum score on the BCS is 6.899.

The optimal location for the Wave Dragon and SSG is respectively Oostende (BCS) and Bremerhaven (DCS).

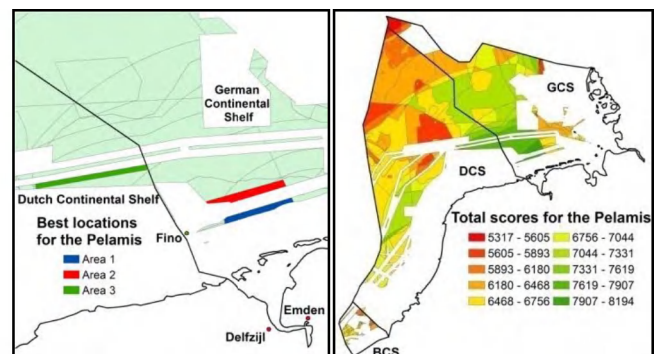


Figure 1: Best locations for the Pelamis.

### III. ECONOMIC STUDY

#### A. Net Present Value, Internal Rate of Return, Option Analysis

The current value of a project is calculated by the Net Present Value (NPV). The NPV (€) is calculated as:

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^n} \quad (1)$$

where  $CF_0$  is the initial cash flow (€) consisting of capital costs, installation costs and subsidies;  $CF_t$  the future cash flow (€) consisting of expenses and incomes;  $i$  is the interest rate (%) and  $n$  is the life cycle of the project (years). The life cycle is assumed to be 20 years [7]. The project / investment is attractive if the NPV is higher than 0 €. The Internal Rate of Return (IRR) (%) defines the interest when the NPV becomes 0 €.

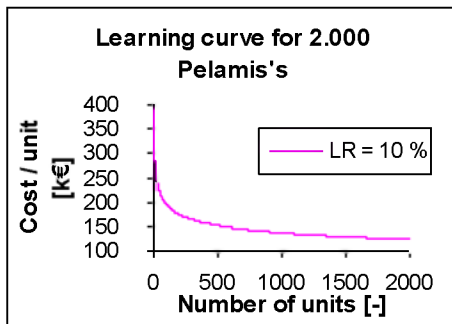
The initial and future cash flows have to be estimated by a valuation of all costs, expenses and incomes. The available data varies and cannot be determined exactly. The technique of option analysis is used to consider the possible variations within each data [8]. A high probability – mostly 80 % - is given to a price which is accurate, described as basic value. A very low probability – with an absolute minimum of 10 % - is given to uncertain prices, described as maxima or minima.

#### B. Learning Effect

The wave energy farm of Pelamises consists of a lot of units. A learning curve considers the effect of learning by doing. For each doubling of the production the price can be reduced by the learning rate (LR) (%). The learning effect (€) is expressed as [9]:

$$C_m = C_1 \cdot m^{\left(\frac{\ln(1-LR)}{\ln(2)}\right)} \quad (2)$$

where  $C_m$  is the cost of the  $m^{\text{th}}$  unit (€),  $C_1$  is the cost of the first unit (€),  $m$  is the number of produced units (-). Graph 1 gives an example for the production of 2.000 Pelamises. The learning effect will only be applied to 50 % of the capital costs of the Pelamis considering a fixed amount of material costs.



Graph 1 The learning curve for 2.000 Pelamis's.

#### C. Results

Based on the choice of the 3 best locations (area 1, 2 and 3), the NPV (€), IRR (%) and investment cost (€/kW) is calculated for the basic values. The investment cost is calculated for the actual produced power excluding all incomes and subsidies. Table 2 shows the results.

Table 2 Summary of the 3 best locations.

	Area 1	Area 2	Area 3
# Pelamises [-]	353	353	674
# Rows [-]	2	2	3
$P_{\max}$ [MWh/y]	2.322.990	2.322.9090	4.435.596
$P_{\text{produced}}$ [MWh/y]	338.116	339.574	633.238
NPV [k€]	-31.210	-56.743	-3.950
IRR [%]	8,55	7,49	9,91
cost [€/kw]	6.502	6.868	6.781

Analysing the NPV and IRR, the best order calculated by ArcGIS differs from the best ranking for NPV and IRR. The best ranking is in this case: Area 3, Area 1 and Area 2. The effect is due to different subsidies on the DCS compared to the GCS and due to the increased amount of WECs (674 vs 353). Table 2 shows also a relative low number of rows because of the calculated effect of diffraction. If more rows are implemented, the NPV decreases. The lowest investment cost (6.502 €/kW) is higher than the average electricity price (ca. 2.500 €/kW) [10]. Subsidies are needed to make wave energy cost-effective.

Finally, the income (based on subsidies (95 €/MWh) and the electricity price (60 €/MWh) for the Wave Dragon at Oostende is calculated: 6.976 €. Subsidies are necessary to execute the research project. The NPV for the SSG excluding all costs concerning the device is negative: -9.198 k€.

### IV. CONCLUSION

The GCS and DCS deliver the best locations for the exploitation of wave energy for a wave energy farm of Pelamises, though investing in wave energy is not possible without subsidies.

Bremerhaven is the best location for the SSG. Still, Bremerhaven produces not enough power to make the installation of an SSG attractive.

Oostende (BCS) is the best location for research on a 1:4,5 scale model. Subsidies are necessary to do research.

### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the support of Prof. Dr. ir. J. De Rouck and Prof. Dr. ir. H Van Landeghem. A special thanks to the contribution of ir. C. Beels and ir. P. Mathys to accomplish the master dissertation.

### REFERENCES

- [1] Henfridson, U., et al, Wave Energy Potential in the Baltic Sea and the Danish Part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak, Sweden, 2006.
- [2] De Backer, G., Golfenergie op het Belgisch Continentaal Plat: Droom of Werkelijkheid?, Gent, België, 2005.
- [3] Beels, C., Henriques, J. C. C., De Rouck, J., Pontes, M. T., De Backer, G., Verhaeghe, H., Wave Energy Resource in the North Sea, Ghent, Belgium, 2007.
- [4] Nobre, A, et al, Geo-Spatial Multi-criteria Analysis for Wave Energy System Deployment, Porto, Portugal, 2007.
- [5] Hansen, S. H., GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development, Aalborg, Denmark, 2005.
- [6] Van Landeghem, H., Inleiding tot industrieel Beheer, Syllabus, Slides Les 6: Investeringsanalyse, 2006.
- [7] Ampe, A., Is Golfenergie voordeliger dan Windenergie? Onderzoek naar een economische Exploitatie van het energiepotentieel in de Noordzee, Gent, België, 2007.
- [8] Van Landeghem, H., Making complex Decisions using Option Analysis, Ghent, 1986.
- [9] Ocean Power Delivery (OPD), Pelamis WEC, Conclusion of primary R & D, Final Report, 2004.

# Inhoudsopgave

<b>Hoofdstuk I : Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>Hoofdstuk II : Toestellen.....</b>	<b>4</b>
II.1 Types toestellen.....	4
II.2 Pelamis .....	6
II.3 Seawave Slot-Cone Generator .....	8
II.3.1 Installatie in een golfbreker.....	9
II.3.2 Installatie onshore .....	10
II.3.3 Installatie offshore.....	10
II.4 Wave Dragon.....	11
<b>Hoofdstuk III : Golfklimaat.....</b>	<b>16</b>
III.1 Scatter diagram .....	16
III.2 Bepaling van het beschikbaar golfvermogen.....	19
III.2.1 Regelmatige golven in diep water.....	19
III.2.2 Werkelijke zeetoestand.....	20
III.3 Variaties van het golfklimaat in de tijd .....	21
III.3.1 Seizoensvariatie van het beschikbaar golfvermogen.....	21
III.3.2 Maandelijks variatie van het beschikbare golfvermogen.....	21
III.4 Variaties van het golfklimaat volgens de richting.....	23
III.5 Bepaling van het geproduceerde vermogen .....	25
III.5.1 Pelamis.....	25
III.5.1.1 Vermogen geleverd door één Pelamis zonder diffractie.....	25
III.5.1.2 Vermogen bepaald met een vaste diffractiecoëfficiënt .....	28
III.5.1.3 Vermogen bepaald met een variabele diffractiecoëfficiënt.....	29
III.5.1.4 Potentieel van het BCP, NCP en DCP.....	30
III.5.2 SSG.....	33
III.5.2.1 Vermogen geleverd zonder het effect van shoaling en breking.....	33
III.5.2.2 Vermogen geleverd met het effect van shoaling en breking .....	33
III.5.3 Wave Dragon .....	37
III.5.3.1 Vermogen geleverd zonder het effect van shoaling en breking.....	37

III.5.3.2 Vermogen geleverd met het effect van shoaling en breking .....	38
III.6 Extreme golfomstandigheden.....	39
III.7 Invloed van de klimaatveranderingen op het golfklimaat.....	40
<b>Hoofdstuk IV : Beperkingen.....</b>	<b>42</b>
IV.1 Het Continentaal Plat van de Noordzee .....	43
IV.2 Ramsar- en habitatgebieden .....	44
IV.3 Scheepvaartroutes.....	45
IV.4 Baggerzones.....	45
IV.5 Ankerplaatsen .....	46
IV.6 Zand- en grindextractiezones .....	46
IV.7 Schelpwingebieden .....	46
IV.8 Industriële afvalsites .....	47
IV.9 Munitiezones .....	48
IV.10 Militaire oefengebieden.....	48
IV.11 Kabels en pijpleidingen.....	49
IV.12 Windmolenparken .....	50
IV.13 Scheepswrakken.....	51
IV.14 Platformen .....	52
IV.15 Ijsvorming.....	53
IV.16 12-mijlszone.....	54
IV.17 Helling.....	55
IV.18 Invloed van de getijden.....	55
IV.19 Vergunningen .....	55
IV.20 Schaduwzones .....	56
IV.21 Socio-economische beperkingen .....	56
IV.22 Samenvatting .....	56
<b>Hoofdstuk V : Scores .....</b>	<b>58</b>
V.1 Factoren .....	58
V.2 Pelamis .....	60
V.2.1 Beschikbaar golfvermogen en geproduceerde vermogen.....	60

V.2.2 Afstand tot de kust.....	63
V.2.3 Afstand tot de gridconnectie.....	64
V.2.4 Afstand tot dichtstbijgelegen haven.....	65
V.2.5 Beschikbare diepte of bathymetrie.....	66
V.2.6 Bodemgesteldheid.....	68
V.2.7 Extreme omstandigheden .....	69
V.2.8 Maandelijkse variatie van het beschikbare golfvermogen.....	72
V.3 SSG.....	74
V.3.1 Geproduceerd vermogen.....	74
V.3.2 Afstand tot de gridconnectie.....	75
V.3.3 Beschikbare diepte of bathymetrie.....	76
V.3.4 Bodemgesteldheid.....	77
V.3.5 Extreme omstandigheden .....	77
V.3.6 Richtingsafhankelijkheid.....	77
V.3.7 Maandelijkse variatie van het beschikbare golfvermogen.....	79
V.4 Wave Dragon.....	80
V.4.1 Geproduceerd vermogen voor een vaste golfhoogte .....	80
V.4.2 Geproduceerd vermogen voor een vaste golfperiode.....	81
V.4.3 Afstand tot de kust.....	81
V.4.4 Afstand tot de gridconnectie.....	82
V.4.5 Afstand tot dichtst bijgelegen haven.....	82
V.4.6 Beschikbare diepte of bathymetrie.....	82
V.4.7 Bodemgesteldheid.....	82
V.4.8 Extreme omstandigheden .....	83
V.4.9 Richtingsafhankelijkheid.....	84
V.4.10 Maandelijkse variatie van het golfvermogen.....	84
<b>Hoofdstuk VI : Gewichten.....</b>	<b>85</b>
VI.1 Pelamis.....	85
VI.1.1 Literatuur.....	85
VI.1.2 Scriptie Ampe A .....	86
VI.1.3 Eigen schatting.....	88
VI.1.4 Samenvatting.....	90
VI.2 SSG .....	91

VI.3 Wave Dragon .....	92
<b>Hoofdstuk VII : Locatiebepaling .....</b>	<b>95</b>
VII.1 ArcGIS .....	95
VII.1.1 ArcCatalog .....	96
VII.1.1.1 Data formaat.....	96
VII.1.1.2 Objecttype.....	98
VII.1.1.3 Attributen en datatype.....	98
VII.1.1.4 Ruimtelijke referentie .....	98
VII.1.1.5 Metadata.....	99
VII.1.2 ArcMap .....	100
VII.2 Georefereren .....	101
VII.2.1 Een figuur als basis.....	102
VII.2.2 Coördinaten als basis.....	104
VII.2.3 Digitaliseren.....	105
VII.3 Modellen .....	106
VII.3.1 Model van de beperkingen.....	107
VII.3.1.1 Buffer .....	107
VII.3.1.2 Union.....	107
VII.3.1.3 Clip .....	107
VII.3.1.4 Erase .....	108
VII.3.1.5 Feature to polygon .....	108
VII.3.1.6 Calculate areas.....	108
VII.3.1.7 Merge.....	108
VII.3.1.8 Volledige model.....	108
VII.3.1.9 Resultaat.....	108
VII.3.2 Model van de factoren.....	109
VII.3.2.1 Multiple ring buffer.....	109
VII.3.2.2 Create thiessen polygons.....	110
VII.3.2.3 Delete field.....	111
VII.3.2.4 Add field.....	111
VII.3.2.5 Calculate field.....	112
VII.3.2.6 Union.....	112
VII.3.2.7 Clip .....	112



VII.3.2.8 Volledige model.....	112
VII.3.2.9 Resultaat.....	112
VII.4 Locatiebepaling van de Pelamis .....	113
VII.4.1 Beperkingen .....	113
VII.4.2 Factoren.....	114
VII.4.3 Resultaat.....	114
VII.4.3.1 Literatuur.....	114
VII.4.3.2 Scriptie Ampe A.....	116
VII.4.3.3 Eigen schatting .....	116
VII.4.4 Gevoeligheidsanalyse.....	117
VII.4.4.1 Golfvermogen.....	117
VII.4.4.2 Afstand tot de gridconnectie.....	120
VII.4.4.3 Extreme omstandigheden .....	121
VII.4.4.4 Algemene trend.....	123
VII.4.5 Gekozen locatie.....	124
VII.5 Locatiebepaling van de SSG.....	127
VII.5.1 Beperkingen .....	127
VII.5.2 Factoren.....	128
VII.5.3 Resultaat.....	129
VII.5.4 Gekozen locatie.....	131
VII.6 Locatiebepaling van de Wave Dragon .....	132
VII.6.1 Beperkingen .....	132
VII.6.2 Factoren.....	133
VII.6.2.1 Windmolenparken.....	134
VII.6.2.2 12-mijlszone .....	134
VII.6.3 Resultaat.....	134
VII.6.3.1 Windmolenparken.....	134
VII.6.3.2 12-mijlszone .....	136
VII.6.4 Gekozen locatie.....	137
<b>Hoofdstuk VIII : Elektrische verbinding .....</b>	<b>140</b>
VIII.1 Elektriciteitskabels .....	140
VIII.1.1 Wisselstroom.....	142
VIII.1.2 Gelijkstroom.....	143

VIII.1.3 Spanningsniveau .....	145
VIII.1.3.1 Grootte van een park .....	146
VIII.1.3.2 Bestaande gridconnecties .....	147
VIII.1.3.3 Kostprijs.....	148
VIII.2 Plaatsen van kabels.....	148
VIII.2.1 Methoden .....	148
VIII.2.2 Toepassing.....	150
VIII.3 Aanlanding .....	151
VIII.4 Aansluiting op het bestaande elektriciteitsnet .....	152
VIII.4.1 Connectie.....	152
VIII.4.2 Verbinding tussen de toestellen.....	152
VIII.4.3 Middenspanningsbord .....	153
VIII.4.4 Transformatorstation.....	153
VIII.4.5 Onderzeese kabel.....	154
VIII.4.6 Landkabel .....	154
VIII.4.7 Spoel.....	154
VIII.4.8 Aansluiting.....	155
VIII.5 Verantwoordelijke netbeheerders.....	155
VIII.5.1 België .....	155
VIII.5.2 Nederland .....	155
VIII.5.3 Duitsland.....	156
<b>Hoofdstuk IX : Haalbaarheidsstudie .....</b>	<b>157</b>
IX.1 Begrippen.....	157
IX.1.1 Kosten en inkomsten.....	157
IX.1.1.1 Initiële investeringskost.....	157
IX.1.1.2 Verzekerings- en onderhoudskosten.....	158
IX.1.1.3 Inkomsten.....	159
IX.1.2 Netto actuele waarde .....	159
IX.1.3 Interne rendementsgraad en paybackperiode .....	160
IX.1.4 Leercurve.....	160
IX.1.5 Option analysis en S-curve .....	161
IX.2 Beschikbare gegevens en beschouwde variaties.....	163
IX.2.1 Kapitaalkosten.....	163

IX.2.1.1 Toestelkosten .....	163
IX.2.1.2 De kost van de kabel op zee, op land en voor de aanlanding .....	166
IX.2.1.3 De kost van een transformatorstation op zee of op land .....	168
IX.2.1.4 De kost van de velden .....	169
IX.2.1.5 De kost van een compensatiespoel .....	170
IX.2.1.6 De kost van een beveiligingspaneel .....	170
IX.2.1.7 De kost van een offshore platform .....	170
IX.2.2 Installatiekosten .....	170
IX.2.2.1 Installatiekost voor het toestel .....	170
IX.2.2.2 De installatiekost van de kabel op zee .....	171
IX.2.2.3 De installatiekost van een kabel op land .....	171
IX.2.2.4 De installatiekost bij aanlanding .....	172
IX.2.3 Verzekering- en onderhoudskosten .....	172
IX.2.3.1 Pelamis .....	172
IX.2.3.2 Wave Dragon .....	172
IX.2.3.3 SSG .....	172
IX.2.4 Variaties op de kosten .....	172
IX.2.5 Variaties op de inkomsten .....	173
IX.2.5.1 Elektriciteitsprijs .....	173
IX.2.5.2 Groenestroomcertificaten .....	174
IX.2.5.3 Subsidies .....	176
IX.2.6 Variatie op de discontovoet .....	176
IX.2.7 Variatie op de leercurve .....	177
IX.3 Haalbaarheidsstudie .....	178
IX.3.1 Pelamis .....	178
IX.3.1.1 Duitsland .....	179
IX.3.1.2 Nederland .....	186
IX.3.1.3 België .....	192
IX.3.2 SSG .....	192
IX.3.3 Wave Dragon .....	192

<b>Hoofdstuk X : Besluit .....</b>	<b>193</b>
------------------------------------	------------

<b>Bijlage A : Scatter diagrammen .....</b>	<b>196</b>
---	------------

A.1 Oorspronkelijke scatterdiagrammen .....	196
A.2 Scatter diagrammen voor de methode met de vaste diffractiecoëfficiënt.....	205
A.3 Scatter diagrammen voor de methode met de variabele diffractiecoëfficiënt.....	210
A.4 Scatter diagrammen na shoaling en breking voor een diepte van 6,5 m .....	215
<b>Bijlage B : Figuren scoreverdeling.....</b>	<b>224</b>
B.1 SSG.....	224
B.2 Wave Dragon.....	226
<b>Bijlage C : Modellen.....</b>	<b>229</b>
C.1 Model van de beperkingen.....	230
C.2 Model van de factoren .....	231
<b>Bijlage D : Economische studie .....</b>	<b>232</b>
D.1 Variaties van de NPV (DCP, gebied 2) .....	232
D.2 Variaties van de NPV (NCP) .....	233
D.3 Data S-curves .....	234
D.4 Overzicht besproken locaties Pelamis .....	235
<b>Bibliografie .....</b>	<b>236</b>

# Lijst van Symbolen

$C$	: voortplantingssnelheid van de golf [m/s]
$C_g$	: groepsnelheid [m/s]
$C_1$	: kost voor één toestel [€]
$C_{F0}$	: initiële cashflow [€]
$C_{Ft}$	: toekomstige cashflow [€]
$C_m$	: kost voor m toestellen [€]
$d$	: waterdiepte [m]
$d_b$	: brekerdiepte [m]
$f$	: frequentie [Hz]
$f_p$	: piekfrequentie [Hz]
$g$	: zwaartekrachtversnelling ( $= 9,81$ ) [ $m/s^2$ ]
$H$	: golfhoogte [m]
$H_b$	: brekerhoogte [m]
$H_s$	: significante golfhoogte [m]
$i$	: interest- of discontovoet [%]
$I$	: stroomsterkte [A]
$n$	: aantal jaar waarover een investering wordt beschouwd [-]
$k$	: golfgetal [rad/m]
$K$	: diffractiecoëfficiënt [-]
$K_{sh}$	: ondiepwatercoëfficiënt [-]
$L$	: golflengte [m]
$LR$	: learning rate [%] (leerpercentage)
$P$	: het golfvermogen [kW/m]
$P_{max}$	: maximaal geproduceerd vermogen [kW]
$PR$	: progression rate [%] (progressiepercentage)

R	: weerstand [ $\Omega$ ]
R <sub>c</sub>	: vrijboord [m]
S	: steilheid [-]
Q <sub>overtopping</sub>	: debiet bij overtopping [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>spill</sub>	: overgestort debiet [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>turbine</sub>	: debiet doorheen de turbine [m <sup>3</sup> /s]
S <sub>f</sub>	: golfspectrum [m <sup>2</sup> /Hz]
T	: golfperiode [s]
T <sub>m0,2</sub>	: gemiddelde golfperiode uit de spectraalanalyse [s]
T <sub>p</sub>	: piekperiode [s]
$\gamma$	: brekerdiepte-index [-]
$\rho$	: waterdensiteit (= 1.026) [kg/m <sup>3</sup> ]

## Lijst van Afkortingen

AC	: Alternating Current (wisselstroom)
BCP	: Belgisch Continentaal Plat
CALM	: Catenary Anchored Leg Mooring
DC	: Direct Current (gelijkstroom)
DCP	: Duits Continentaal Plat
DI	: Directionele Index [-]
ECMWF	: European Centre for Medium-range Weather Forecasts
ED50	: Europees Datum 1950
ELD	: Eierlandse Gat (boei)
EMEC	: European Marine Energy Centre
EPRI	: Electric Research Power Institute

EUR	: Europlatform (boei)
GIS	: Geographical Information System of Grafisch InformatieSysteem
GSC	: Groenestroomcertificaat
IRR	: Internal Rate of Return [%] (interne rendementsgraad)
K13	: K13a Platform (boei)
LEG	: Lichteiland Goeree (boei)
MPN	: Meetpost Noordwijk (boei)
MST	: Multi Stage Turbine (meetrappsturbine)
MSL	: Mean Sea Level
MV	: Monthly Variability Index [-] (maandelijkse variabiliteitsindex)
NAW	: Netto Actuele Waarde [€]
NCP	: Nederlands Continentaal Plat
NPV	: Net Present Value [€] (netto actuele waarde)
O.F.	: Overschrijdingsfrequentie [%]
OPD	: Ocean Power Delivery Ltd
SCW	: Scheur west wandelaar (boei)
SON	: Schiermonnikoog Noord (boei)
SSG	: Seawave Slot-cone Generator
SV	: Seasonal Variability Index [-] (seizoensvariabiliteitsindex)
SWB	: Schouwenbank (boei)
TSO	: Transmission System Operator (Netbeheerder)
WGS	: World Geodetic System (Wereld Geodetisch Systeem)
YM6	: IJmuiden munitiestortplaats (boei)

# Hoofdstuk I: Inleiding

De voortdurende stijging van de brandstofprijzen en de almaar toenemende vraag naar energie samen met een stijgende bevolkingsgroei en een algemene toename van de levensstandaard maken de aanwending van hernieuwbare energie steeds belangrijker [1].

Europa heeft via de goedkeuring van het Protocol van Kyoto er zich toe verbonden om de uitstoot van broeikasgassen tegen 2010 – 2012 met 10 % te doen dalen t.o.v. 1990 [2]. Het overgrote deel van de energie wordt op dit ogenblik echter geleverd door uitputbare energiebronnen die sterk milieubelastend zijn en voor een hoge uitstoot aan broeikasgassen zorgen.

De doelstelling van Kyoto kan enkel behaald worden indien gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare energiebronnen. Hernieuwbare energiebronnen zijn onuitputtelijk en veroorzaken geen schadelijke milieueffecten [3]. Naar de toekomst toe kunnen hernieuwbare energiebronnen de schakel vormen tussen een economische groei en een groenere omgeving en bijdragen in een onafgebroken productie van elektriciteit [4].

Volgende hernieuwbare energiebronnen worden onderscheiden: windenergie, fotovoltaïsche en thermische zonne-energie, getijde- en golfenergie, kleinschalige waterkracht, biomassa en hernieuwbare energie gewonnen uit stedelijk afval [5].

De aanwending van golfenergie kent heel wat voordelen. De visuele hinder blijft uiterst beperkt, de energiedichtheid is hoog, de impact op de omgeving is klein in vergelijking met andere hernieuwbare energiebronnen en er zijn steeds golven aanwezig op zee [1], [6].

Sommige golfenergieconvertoren staan reeds vrij dicht bij een commerciële exploitatie, andere golfenergieconvertoren bevinden zich nog in de onderzoeksfase [7]. De investeringskost voor golfenergie is momenteel nog steeds hoger dan de investeringskost voor conventionele fossiele brandstoffen [8]. De interesse in golfenergie is echter hoog en verschillende bedrijven bestuderen de mogelijkheden om van golfenergie een aantrekkelijke investering te maken [9].

Hoewel het Belgische, Nederlandse en Duitse Continentaal Plat over een rustig golfklimaat beschikken (0 – 20 kW/m) kan het globale technische vermogen voor dergelijke golfklimaten reeds variëren van 200 tot 1.000 TWh/jaar [10].

Huidige scriptie zal daarom een studie uitvoeren naar de haalbaarheid van golfenergie voor het Belgische, Nederlandse en Duitse Continentaal Plat (respectievelijk BCP, NCP en DCP). De bepaling van de meest geschikte locatie ligt echter niet voor de hand. Aan verschillende zones in de Noordzee is reeds een gebruiksfunctie toegekend. Vele zones laten daarom de exploitatie van



golfenergie niet toe. Elke locatie op zich heeft bovendien specifieke karakteristieken die de keuze voor een ideale zone beïnvloeden. De keuze van een locatie zal gebeuren met een multi-criteria GIS-analyse die uitgevoerd wordt met behulp van het programma ArcGIS 9.2.

In Hoofdstuk II wordt een kort overzicht gegeven van de toestellen waarvoor een haalbaarheidsstudie beschouwd wordt. De studie zal zich voornamelijk richten op een park van Pelamissen. De Pelamis is een halfondergedompelde golfenergieconvector bestaande uit cilindrische secties, scharnierend met elkaar verbonden door middel van koppellementen of conversiemodules. De beschouwde Pelamis heeft een maximaal vermogen van 750 kW. Vervolgens wordt de Seawave Slot-Cone Generator of kortweg SSG besproken. De SSG is een golfenergieconvector van het overtopbare type waarin de potentiële energie van de golven wordt opgeslagen in drie boven elkaar geplaatste reservoirs. De opgeslagen energie wordt m.b.v. van turbines in electriciteit omgezet. De SSG heeft een maximaal vermogen van 20 MW en wordt in een golfbreker geïnstalleerd. Tot slot, zal een 1:4,5 schaalmodel van de Wave Dragon bestudeerd worden. Het betreft een model voor onderzoek dat maximaal 75 kW produceert. De Wave Dragon is evenzeer een convector van het overtopbare type waarbij de golven met behulp van een schans in een drijvend reservoir worden overgebracht. De aanwezige waterhoogte binnen het reservoir wordt via een turbine omgezet in elektriciteit.

In Hoofdstuk III wordt aan de hand van de beschikbare scatter diagrammen en power matrices van de toestellen, het geproduceerde vermogen per toestel voor alle boeien op het BCP, NCP en DCP bepaald. De maandelijkse variatie van het golfvermogen, de golfrichtingsafhankelijkheid en de extreme omstandigheden worden vervolgens in beschouwing genomen. Ook de invloeden van shoaling, breking en diffractie worden in dit hoofdstuk nader besproken. Het hoofdstuk sluit af met een korte bespreking van de invloed van de klimaatveranderingen op het golfklimaat.

De toestellen kunnen niet willekeurig in zee geplaatst worden. Aan vele gebieden in de Noordzee zijn reeds gebruiksfuncties toegekend. Een mogelijk conflict met de bestaande gebruikers en de installatie van één of meerdere golfenergieconvertoren dient vermeden te worden. Hoofdstuk IV behandelt alle mogelijke beperkingen die in beschouwing genomen moeten worden.

Nadat de resterende beschikbare oppervlakte is vastgelegd, kan niet zo maar onmiddellijk worden overgegaan tot de keuze van een geschikte locatie. Verschillende factoren dienen per locatie in rekening worden gebracht. Binnen een factor, bijvoorbeeld de afstand tot de kust, moeten waarden toegekend worden. De waarden worden scores genoemd en benadrukken bijvoorbeeld de nabijheid van een locatie tot de kust (hoe verder de locatie van de kust gelegen is, hoe lager de score). Hoofdstuk V bepaalt de scores in functie van elk toestel.

De factoren moeten ook tegenover elkaar vergeleken worden. De onderlinge vergelijking gebeurt met de hulp van gewichten die besproken worden in Hoofdstuk VI. Ook in dit geval is de verdeling van de gewichten afhankelijk van het type toestel.

Eenmaal de beperkingen, gewichten en scores gekend zijn, kan een meeste geschikte locatie bepaald worden. De keuze voor een geschikte locatie is een typisch GIS-probleem. Hoofdstuk VII bespreekt enkele mogelijkheden binnen het programma ArcGIS 9.2 en geeft weer hoe alle beschikbare data / kaarten in het programma zijn ingevoerd. Vervolgens worden een model voor de beperkingen en voor de factoren opgesteld. Tot slot, wordt met de hulp van de gedefinieerde modellen een meest geschikte locatie bepaald voor elk type toestel.

Alvorens kan worden overgegaan tot de haalbaarheidsstudie voor elk toestel, dient de connectie met het bestaande grid onderzocht te worden. Hoofdstuk VIII geeft een beknopte kabelstudie weer m.b.t. de kabel zelf en de aanleg van de kabel. Ook de connectie tussen de toestellen onderling en de connectie van de kabel met de dichtstbijzijnde gridconnectie wordt nader verklaard.

Hoofdstuk IX geeft tot slot de haalbaarheidsstudie weer per toestel aan de hand van beschikbare data uit de literatuur. Er werd ook contact opgenomen met enkele bedrijven om meer informatie te verkrijgen. Gezien echter de beperkte beschikbaarheid aan bruikbare data kon enkel een volledige haalbaarheidsstudie op het park van Pelamissen toegepast worden. Voor de SSG en Wave Dragon werd de berekeningsmethode vereenvoudigd.

# Hoofdstuk II: Toestellen

In het hoofdstuk van de toestellen wordt een korte beschouwing gegeven van de verschillende types golfenergieconvertoren. Vervolgens worden enkele golfenergieconvertoren meer in detail besproken. Als eerste wordt een 750 kW Pelamis beschouwd. Voor de studie van de Pelamis zal een park worden beschouwd. Als tweede toestel wordt de 20 MW Seawave Slot-Cone Generator of kortweg SSG besproken. Tot slot, zal een 1:4,5 schaalmodel van de Wave Dragon bestudeerd worden. Het betreft een model voor onderzoek dat maximaal 75 kW produceert.

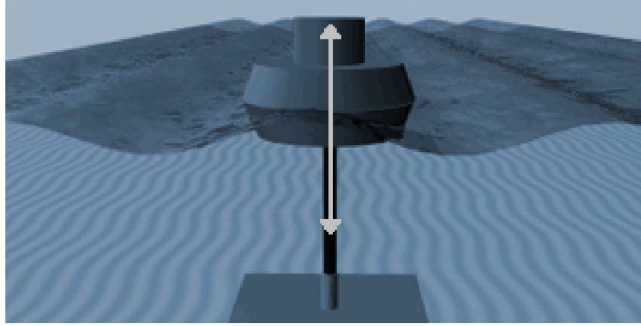
## II.1 Types toestellen

Vele schaalmodellen en prototypes (bijvoorbeeld de 750 kW Pelamis) zijn reeds ontwikkeld met het oog op de productie van elektriciteit op basis van golfenergie. De golfenergieconvertortoestellen kunnen onderverdeeld worden in drie soorten naar gelang de locatie van het toestel [3], [11] of naar gelang de wijze van energieabsorptie [12]. Een onderverdeling naar locatie van het toestel levert volgende classificatie op:

- Shoreline systemen worden op de kust zelf geplaatst en staan rechtstreeks in verbinding met het vasteland (bijvoorbeeld de Seawave Slot-Cone Generator geïnstalleerd in een golfbreker).
- Offshore systemen bevinden zich in diep water (> 40 m) en ver van de kust (> 10 km) (bijvoorbeeld de Pelamis).
- Nearshore systemen situeren zich tussen beide voorgaande systemen (bijvoorbeeld test / schaalmodellen van golfenergieconvertoren op zee geplaatst in ondiepe gebieden of in overgangszones).

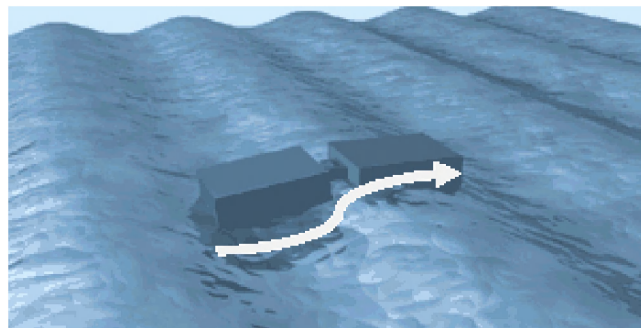
Rekening houdend met de wijze van energieabsorptie wordt volgende onderverdeling gehanteerd:

- Point absorbers zijn klein in vergelijking met de invallende golven en kunnen oscilleren onder meerdere vrijheidsgraden. Voorbeelden van dit soort golfenergieconvertoren zijn o.a. de WaveBob, de Archimedes Wave Swing, ... . Een schematische weergave van de werking wordt gegeven op Figuur II-1.



**Figuur II-1: De werking van een point absorber [13]**

- Een attenuator is lang in de richting van de golfvoortplanting en absorbeert de energie die er op gediffracteerd wordt (Figuur II-2). Het meest ontwikkelde toestel onder de attenuatoren is de Pelamis.



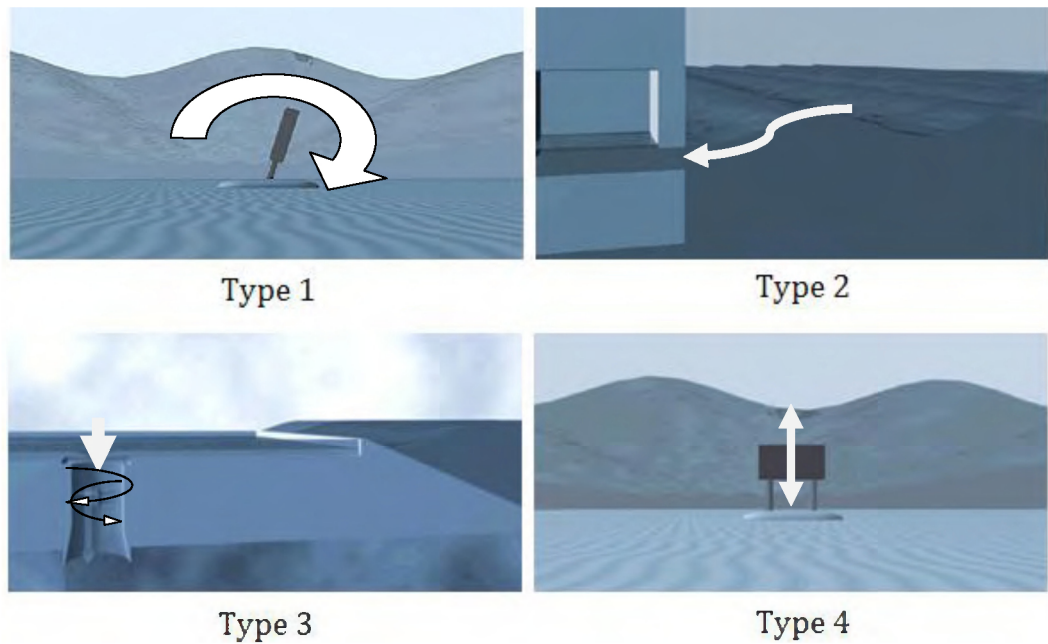
**Figuur II-2: De werking van een attentuator [13]**

- Terminators onderscheiden zich door een breed front langs de golfkruin en laten op die manier weinig energie passeren. Voorbeelden van dit laatste type golfenergieconvector zijn de SSG en Wave Dragon.

In [13] wordt een gelijkaardige onderverdeling gemaakt waarbij echter het laatste type niet vermeld wordt. In plaats van de terminators worden 4 extra types in aanmerking genomen:

- De oscillerende en schommelende golfenergieconvertoren (oscillating wave surge converter) (type 1)
- De oscillerende waterkolom (oscillating water column) (type 2)
- De overtopbare golfenergieconvertoren (overtopping device) (type 3)
- De ondergedompelde drukgradiënt golfenergieconvector (submerged pressure differential) (type 4)

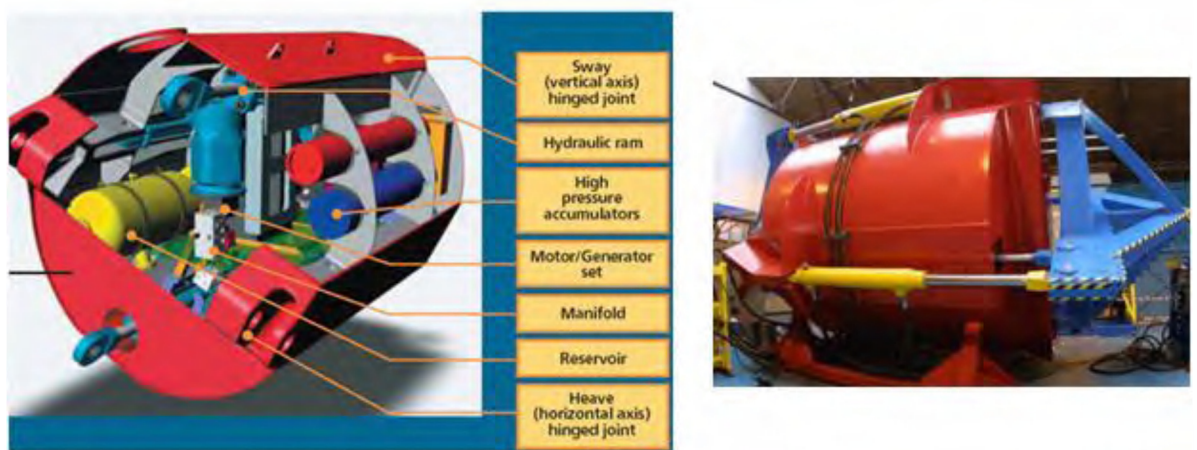
Het principe van de 4 types wordt schematisch weergegeven op Figuur II-3. In wat volgt zullen enkel de Pelamis, de SSG en de Wave Dragon verder besproken worden.



Figuur II-3: 4 types golfenergieconvertoren volgens [13]

## II.2 Pelamis

De Pelamis is een halfondergedompelde attenuator bestaande uit cilindrische secties, scharnierend met elkaar verbonden door middel van koppellementen of conversiemodules (Figuur II-4).



Figuur II-4: Conversiemodule van de Pelamis [14]

De door de golven geïnduceerde beweging van de modules levert een reactiekracht op van de plunjers (hydraulic rams) die op hun beurt door middel van accumulatoren vloeistof onder hoge druk doorheen een hydraulische motor persen. De accumulatoren zijn verantwoordelijk voor een gelijkmatige en continue energie-output onder het onregelmatig optredende golfklimaat. De hydraulische motor drijft vervolgens de elektrische generator aan ter opwekking van

elektriciteit. De geproduceerde elektriciteit wordt met behulp van een 690 V, driefasige kabel naar de zeebodem geleid waar deze in verbinding wordt gebracht met de zee kabel [3], [14] en [15].

Verscheidene schaalmodellen zijn reeds ontwikkeld, [16] biedt een chronologisch overzicht (1998 – 2007) van de types testen en soorten schaalmodellen die reeds werden gebouwd. Het eerste 1:1 prototype werd in 2004 getest op de testsite te EMEC (European Marine Energy Centre, Orkney). Het was de eerste economische implementatie van de Pelamis en meer algemeen van een golfenergieconverter [17] waarbij elektriciteit aan het grid werd geleverd. Sindsdien is de technologie van het toestel meer verfijnd. De lengte van de toestellen varieert tussen 126 m [3], 140 m [14] en 150 m [15], de diameter bedraagt 3,5 m [14] à 4,6 m [15] en het toestel beschikt over drie conversiemodules (Figuur II-5, groene cirkels). In de scriptie wordt uitgegaan van een diameter van 4,5 m en een lengte van 150 m. Het totale gewicht aan staal, de belangrijkste constructiecomponent, bedraagt ca. 380 ton en het toestel beschikt over een maximaal theoretisch vermogen van 750 kW met een capaciteitsfactor tussen 25 % en 40 % [18]. In volledig geballaste toestand, om het toestel in zijn positie te houden, bedraagt het totale gewicht 700 à 750 ton [14], [19]. Het ballasten gebeurt m.b.v. zand. De ideale waterdiepte bedraagt 50 m of meer [15], [14].



**Figuur II-5: De drie conversiemodules van de Pelamis in zij- en bovenaanzicht [18]**

De structuur en conversiemodule worden op het land vervaardigd. Indien alle onderdelen aanwezig zijn, kan de assemblage van het toestel op de kade gebeuren en kan het naar zee verslept worden (Figuur II-6). Zowel op land als op zee worden tijdens de assemblage en het transport uitvoerig technische testen en controles uitgevoerd. Het uiteindelijke transport op zee vergt voldoende hijsmaterieel op de kade zelf en het gebruik van sleepboten en hijskranen op zee. Tijdens de assemblage onshore, kan offshore de verankering geïnstalleerd worden. De verankering wordt in connectie gebracht met de onderzeese kabels die ook op voorhand kunnen worden geplaatst. Het type verankering is een slappe 3-punts verankering configuratie (3-point slack mooring configuration) en laat het toestel toe om zich te richten naar de invallende golven rekening houdend met de beperkingen van het verankeringsysteem [15].



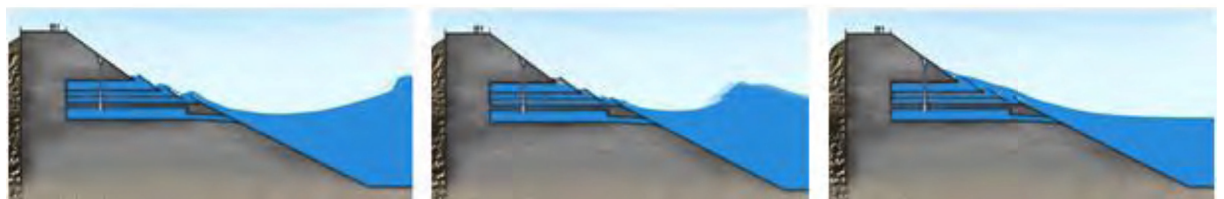


**Figuur II-6: Assemblage van de Pelamis en transport naar zee [14]**

Eens de installatie voltooid, kan de productie opgestart worden en gebeurt de controle vanop een controlepost aan land. Bij technische problemen zal het toestel steeds naar land in een rustig golfklimaat worden gesleept ter reparatie [3], [15]. Het toestel is als dusdanig geconcipeerd dat dit onderhoud een minimum aan tijd in beslag neemt. De park lay-out dient bijgevolg zodanig gedimensioneerd te worden dat voldoende plaats aanwezig is om het toestel te verwijderen voor een gepland of onverwacht onderhoud en dient zoveel mogelijk gericht naar de meest energetische golfsector.

### II.3 Seawave Slot-Cone Generator

De SSG of Seawave Slot-Cone Generator is een terminator waarbij de golfenergie gewonnen wordt door middel van overtopping. Het toestel bestaat uit drie boven elkaar geplaatste reservoirs waarin de potentiële energie van de golven tijdelijk opgeslagen wordt (Figuur II-7 en Figuur II-8). Het water in de reservoirs opgeslagen, wordt vervolgens door een meertrapsturbine (MST of Multi Stage Turbine) gestuurd ter opwekking van elektriciteit [20]. De constructie wordt gekenmerkt door haar robuustheid wegens een beperkt aantal bewegende onderdelen en biedt aldus bij stormweer goed weerstand tegen extreme golven. Het gebruik van drie turbines i.p.v. één enkele turbine leidt tot een hogere efficiëntie [21], [22]. Over het effect van de getijden op de werking van het toestel is in de literatuur geen informatie gevonden.



**Figuur II-7: Werkingsprincipe van de Seawave Slot-Cone Generator [20]**



**Figuur II-8: De meertrapsturbine van de SSG [20]**

De meertrapsstrategie laat toe om werkzaam te zijn onder variërende hoogten van het water en beperkt het aantal starts en stops tijdens de werking omdat steeds gegarandeerd kan worden dat minstens één reservoir of een deel er van gevuld blijft. Hierdoor kan steeds voorzien worden in een regelmatige elektriciteitsoutput naar het grid toe. Men onderscheidt drie types SSG: installatie in een golfbreker, installatie onshore en installatie offshore [21], [22].

### ***II.3.1 Installatie in een golfbreker***

Dit type SSG wordt geïntegreerd in een golfbreker en maakt voor zijn fundering gebruik van de fundering van een bestaande of nieuw te bouwen golfbreker (Figuur II-9). Dit type biedt de mogelijkheid om opbrengsten uit een golfbreker te halen en de kosten op die manier te reduceren. Dit type SSG kan bijvoorbeeld energie leveren voor een klein eiland als alternatief voor de energie opgewekt door dieselgeneratoren [20].



**Figuur II-9: Installatie van de SSG in een golfbreker [20]**



### ***II.3.2 Installatie onshore***



**Figuur II-10: Installatie van de SSG onshore [20]**

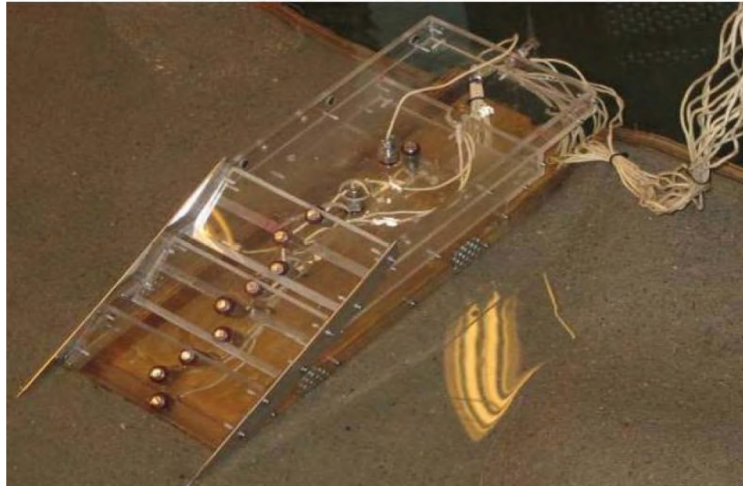
Dit type SSG kan op de kust zelf geïnstalleerd worden waarbij een wigvormige bedding van de kust de voorkeur geniet ter installatie van dergelijk toestel (Figuur II-10). Ook hier kan de geleverde energie aangewend worden op een klein eiland [20].

### ***II.3.3 Installatie offshore***

Dit type kan zowel drijvend als vaststaand gebouwd worden. Voor het vaststaande type kan voor de fundering gebruikgemaakt worden van de fundering van een oud olieplatform. Dit laat toe te besparen in de kost van een nieuwe fundering voor de SSG en laat eveneens toe de afbraakkosten van het oude olieplatform uit te stellen. De geleverde energie kan gebruikt worden ter elektriciteitsvoorziening van naburige olieplatformen [20].



**Figuur II-11: Installatie van de SSG offshore (vaststaand type) [20]**



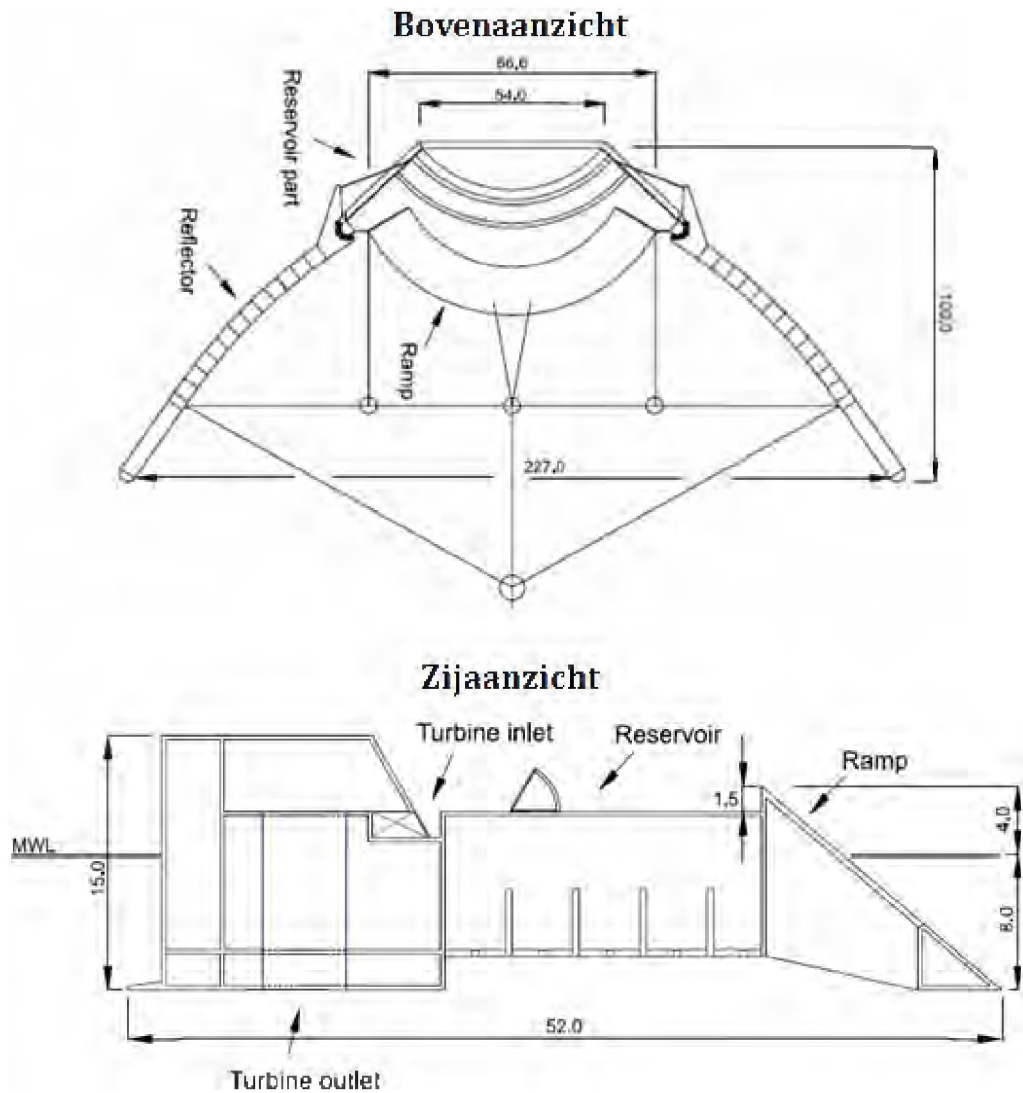
**Figuur II-12: Een schaalmodel van de SSG [23]**

Testen op twee modellen, met als lengteschalen 1:15 en 1:25, werden reeds uitgevoerd in de universiteit te Aalborg (2005) (Figuur II-12). Er werden testen uitgevoerd op de overtopping [24], op de belasting veroorzaakt door de golven op de structuur [25] en op de werking van de turbines. Momenteel zijn plannen lopende ter uitvoering van een werkelijk model op de westkust van Kvitsoy (i.e. een eiland te Noorwegen). Dit model zal voorzien worden van 4 Kaplan-turbines (2 in het 1<sup>ste</sup> reservoir en telkens één in het 2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> reservoir). Tussentijds zijn op de locatie golfdata opgemeten gedurende vijf maanden.

De SSG waarvan in huidige scriptie wordt uitgegaan, is 500 m lang. Het toestel kan tot maximaal 20 MW produceren en zal op de kust in een golfbreker in de nabijheid van een haven geplaatst worden. De power matrix wordt in Figuur III-9 weergegeven [20].

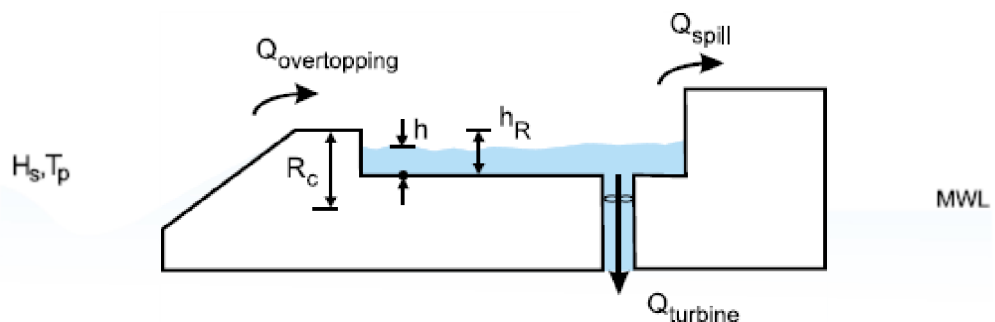
## **II.4 Wave Dragon**

De Wave Dragon is een terminator van het overtopbare type. Het is een drijvend toestel waarbij de golven via overtopping over een schans (ramp) in het drijvende reservoir worden opgevangen. Vervolgens wordt de aanwezige waterhoogte binnen een reservoir opgevangen en omgezet in elektriciteit met behulp van één grote of verscheidene kleine turbines [26]. Dit zijn waterturbines met een reeds ontwikkelde technologie van het type Kaplan.



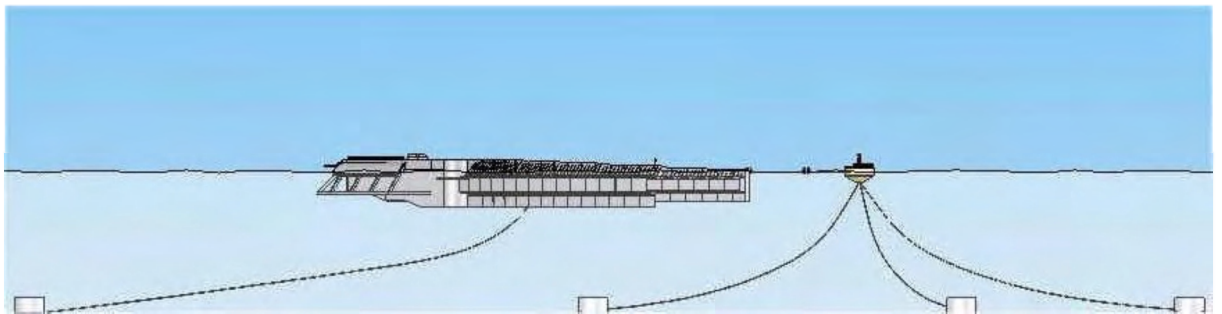
**Figuur II-13: Schets van de Wave Dragon voor een reservoiroppervlakte van 1.745 m<sup>2</sup> [27]**

De mate van overtopping wordt sterk bepaald door de golfhoogte  $H_s$ , de power- of piekperiode  $T_p$  van de invallende golven en door de vrijboord  $R_c$  van de schans (Figuur II-14). De mate van overtopping wordt uitgedrukt met behulp van een overtoppingsdebiet  $Q_{\text{overtopping}}$  [16]. Indien het reservoir volledig gevuld is, kan een deel van het water uit het reservoir ontsnappen wat met  $Q_{\text{spill}}$  wordt aangeduid en het overige gedeelte  $Q_{\text{turbine}}$  loopt doorheen de turbine(s) (Figuur II-14).



**Figuur II-14: Werkingsprincipe van de Wave Dragon [27]**

Ter verbetering van de efficiëntie, is het toestel voorzien van twee slanke armen, reflectoren genaamd, die de golven reflecteren en focussen in de richting van de schans [28]. Een zo groot mogelijk invallende golfhoogte ter hoogte van de schans leidt namelijk tot een hogere energieoutput. [29] geeft een overzicht van de resultaten zonder reflectoren en met reflectoren op analytische, numerieke en experimentele wijze bepaald. De verankering van het toestel bestaat uit twee delen: vooraan een CALM-boei systeem (Catenary Anchored Leg Mooring) en achteraan een verankeringsysteem dat instaat voor een maximaal draaiing van  $\pm 60^\circ$  rond de CALM-boei (Figuur II-15). Betonnen blokken gevuld met rots worden gebruikt als graviteitsankers. Het type van ankers kan verschillen naargelang de bodemgesteldheid [30].



**Figuur II-15: Verankeringsysteem van de Wave Dragon [30]**

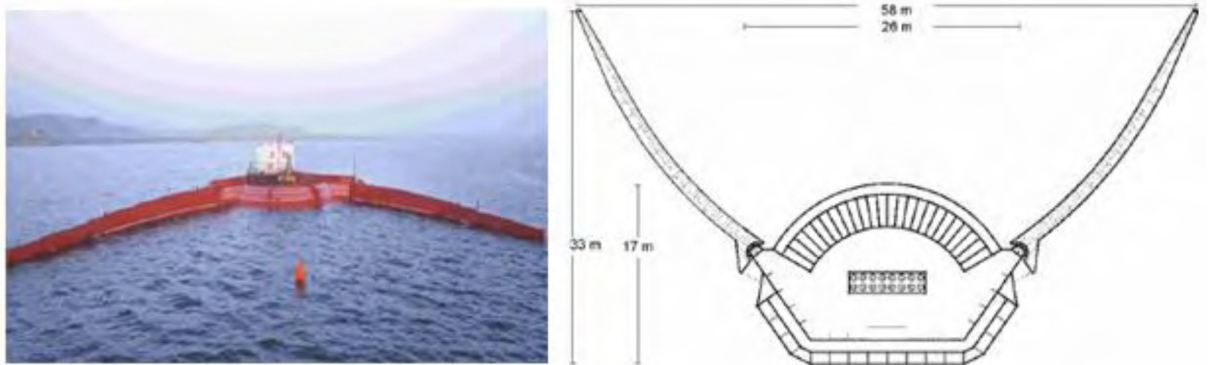
Uit onderzoek is gebleken dat de mate van reflectie verbetert voor laagfrequente golven [12], [31]. Het toestel wordt bij voorkeur geplaatst in waterdiepten groter dan 20 m en is beperkt golfrichtingsafhankelijk [12], [15]. Het verankeringsysteem van de Wave Dragon laat namelijk toe dat de golfenergieconverteerter kan roteren over  $120^\circ$ . In wat volgt, zal ondersteld worden dat de Wave Dragon zelf in vaste toestand over een hoek van  $180^\circ$  de golven kan ontvangen. Rekening houdend met de extra rotatiecapaciteit ( $120^\circ$ ) levert dit een sector van  $60^\circ$  op waarover geen golven kunnen invallen. Gezien slechts na de analyse is vastgesteld dat de verankering een rotatie van het toestel toelaat, is in de analyse zelf uitgegaan van een sector van  $180^\circ$  waarover geen golven kunnen invallen. Tabel II-1 biedt een bondig overzicht van de geometrische kenmerken en productie van de Wave Dragon voor verschillende golfklimaten (respectievelijk 24 kW/m, 36 kW/m en 48 kW/m) en voor een schaalmodel (voor een 0,4 kW/m golfklimaat).

Het onderhoud van het toestel kan geschieden van op het toestel zelf door zijn ruime breedte en goede stabiliteit in het water. Het eenvoudiger onderhoud impliceert een reductie van de onderhoudskosten en de mogelijke productieonderbrekingen [16]. Ook met betrekking tot stormomstandigheden vertoont de Wave Dragon een gunstige responsie. Bij storm zullen namelijk de golven onder of over het toestel lopen zonder noemenswaardige schade aan te richten [12]. Onderhoud gedurende stormweer is nog steeds mogelijk, de schepen kunnen zich namelijk positioneren in de schaduwzone gecreëerd door het toestel [15].





**Figuur II-16: Schaalmodel 1:50 te Aalborg [33]**



**Figuur II-17: Schaalmodel 1:4,5 te Nissum Bredning [33]**

Een 1<sup>ste</sup> schaalmodel (1:50) werd getest aan de Universiteit van Aalborg in de periode 1998-1999 (Figuur II-16) [32]. Na dit schaalmodel is de techniek van het toestel steeds meer en meer bijgesteld ter verbetering van de performantie van het toestel. In 2003 werd een schaalmodel (1:4,5 met als afmetingen: 57,490 m x 32,689 m [33]) met een vermogen van 20 kW gebouwd ter evaluatie van de responsie en productie van het toestel in werkelijke omstandigheden [34] (Figuur II-17, rechts). De werkelijke omstandigheden stellen in dit geval een golfklimaat gelijkaardig aan dat van de Noordzee voor (i.e. 16 kW/m, [16]). Het schaalmodel leent zich beter tot het rustiger golfklimaat van de Zuidelijke Noordzee, van inhammen of van beschutte gebieden. Dit leverde bijkomende informatie op met betrekking tot de overlevingskansen bij storm en resulteerde in enkele aanpassingen van het bestaande ontwerp [16], [34].

De testsite voor dit schaalmodel, Nissum Bredning te Denemarken, beschikt over een waterdiepte van gemiddeld 6 m. De implementatie van het toestel betekende de eerste levering van elektriciteit aan het grid in het Noorden van Denemarken geproduceerd door een golfenergieconvector. Het werkelijke 1:1 model is geschikt voor een golfklimaat van 16 kW/m. De productie van het werkelijke prototype wordt geschat tussen 50 en 500 MWh/maand en ca. 3,2 GWh/jaar. Naar de toekomst toe wordt de effectieve productie zelf geschat op 6,5 GWh/jaar met een efficiëntie van 18%. Tabel II-1 geeft optimistischere vooruitzichten weer voor grotere golfklimaten (m.n. 24 kW/m, 36 kW/m en 48 kW/m).

<b>Kenmerken</b>	<b>Nissum Bredning 0,4 kW/m</b>	<b>24 kW/m</b>	<b>36 kW/m</b>	<b>48 kW/m</b>
Gewicht	237 t	22.000 ton	33.000 ton	54.000 ton
Breedte & Lengte	58 x 33 m	260 x 150 m	300 x 170 m	390 x 220 m
Lengte reflector	28 m	126 m	145 m	190 m
Hoogte	3,6 m	16 m	17,5 m	19 m
Reservoir	55 m <sup>3</sup>	5.000 m <sup>3</sup>	8.000 m <sup>3</sup>	14.000 m <sup>3</sup>
Aantal turbines	7	16	16-20	16-24
Vermogen generator / turbine	2,3 kW	250 kW	350 - 440 kW	460 - 700 kW
Vermogen/ eenheid	20 kW	4 MW	7 MW	11 MW
Jaarlijks vermogen / eenheid	-	12 GWh/jaar	20 GWh/jaar	35 GWh/jaar
Waterdiepte	ca. 6,5 m	> 20 m	> 25 m	> 30 m

**Tabel II-1: Geometrische kenmerken en productie voor modellen van de Wave Dragon [26]**

De toestellen worden te water gelaten aan het einde van een speciaal daarvoor in zee gebouwde pier. Hoewel de locatie zich bevindt in een beschermd gebied (met name: vogelbeschermingsgebied en beschermende wetlands), kon de site er toch komen. De site neemt slechts een beperkt gedeelte in van het beschermde gebied en tijdens het paarseizoen werd de activiteit op de site tot een minimum herleid ter reductie van de hinder voor de vogels. Naar de toekomst toe zijn er plannen voor de ontwikkeling van een meer commercieel type van de Wave Dragon in Pembrokeshire, Wales.

De testen te Nissum Bredning leerden dat naar onderhoud toe de Wave Dragon minder goed scoort dan verwacht. Enkel bij relatief rustige weersomstandigheden zou onderhoud mogelijk zijn. Een gepland onderhoud vormt m.a.w. geen problemen. Een onverwacht onderhoud daarentegen zal bij stormweer niet mogelijk zijn [34].

# Hoofdstuk III: Golfklimaat

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de beschikbare scatter diagrammen en power matrices van de toestellen het geproduceerde vermogen per toestel voor alle boeien op het BCP, NCP en DCP bepaald. De invloeden van shoaling en breking worden in rekening gebracht bij het bepalen van het geproduceerde vermogen van de SSG en Wave Dragon. Ook het effect van diffractie wordt nader besproken. De variatie van het golfvermogen in de tijd, de golfrichtingsafhankelijkheid en de extreme omstandigheden worden vervolgens in beschouwing genomen. Tot slot volgt een bondige bespreking van de invloed van de klimaatveranderingen op het golfklimaat.

## III.1 Scatter diagram

De studie omvat België (het Belgisch Continentaal Plat of BCP), Duitsland (het Duits Continentaal Plat of DCP) en Nederland (het Nederlands Continentaal Plat of NCP). Figuur III-1 toont een overzicht van de meetboeien, gebruikt voor verdere berekeningen. Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3 geven de exacte locatie, de diepte en het gemiddeld beschikbaar golfvermogen ter plaatse van de meetboeien.

Naam	WGS84 Noord	WGS84 Oost	Diepte [m]	Golfvermogen [kW/m]
1. Akkaert	51°24'29"	02°48'12"	22,7	3,64
2. Bol van Heist	51°23'25"	03°11'43"	11,7	2,54
3. Oostende Noodstrand	51°14'34"	02°55'14"	6,2	1,66
4. Oostende	51°23'25"	03°11'43"	6,2	1,66
5. Trapegeer	51°08'15"	02°34'59"	6,6	1,51
6. Wandelaar	51°23'32"	03°03'02"	12,6	2,63
7. Westhinder	51°23'12"	02°26'52"	28,8	4,64

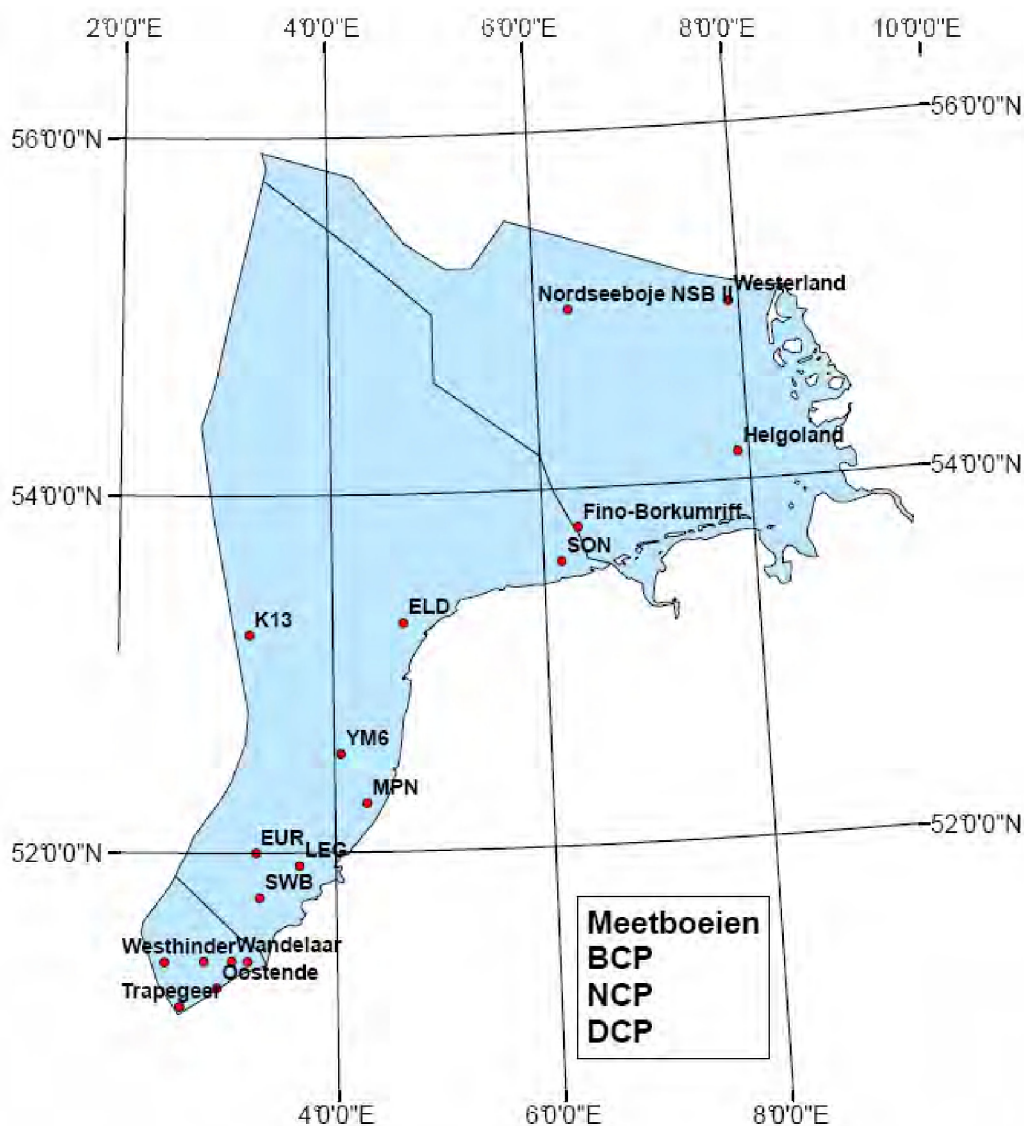
Tabel III-1: Meetboeien op het Belgisch Continentaal Plat [35], [36]

Naam	WGS84 Noord	WGS84 Oost	Diepte [m]	Golfvermogen [kW/m]
1. Fino Borkumriff	53°46'54"	06°20'06"	27	11,6
2. Helgoland	54°09'27"	07°53'39"	20	5,91
3. Nordseeboje NSB II	55°00'00"	06°20'00"	42	17,55
4. Westerland	55°00'00"	07°54'12"	18	4,47

Tabel III-2: Meetboeien op het Duits Continentaal Plat [35], [36]

Naam	WGS84 Noord	WGS84 Oost	Diepte [m]	Golfvermogen [kW/m]
1. Eierlandse Gat (ELD)	53°16'37"	04°39'42"	26	9,86
2. Europlatform (EUR)	51°59'55"	03°16'35"	32	7,04
3. K13a Platform (K13)	53°13'04"	03°13'13"	30	10,8
4. Lichteiland Goeree (LEG)	51°55'33"	03°40'11"	21	6,13
5. Meetpost Noordwijk (MPN)	52°16'26"	04°17'46"	18	5,42
6. Scheur west wandelaar (SCW)	51°23'32"	03°02'57"	15	3,22
7. Schiermonnikoog Noord (SON)	53°35'44"	06°10'00"	19	7,44
8. Schouwenbank (SWB)	51°44'48"	03°18'24"	20	5,57
9. Ijmuiden munitiestortplaats (YM6)	52°33'00"	04°03'30"	21	8,68

Tabel III-3: Meetboeien op het Nederlands Continentaal Plat [35], [36], [37]



Figuur III-1: Meetboeien op het BCP, NCP en DCP



De waterdiepten weergegeven in Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3 worden uitgedrukt t.o.v. de gemiddelde waterstand of middenstand of MSL (mean sea level). De coördinaten worden uitgedrukt in het WGS84-stelsel (World Geodetic System 1984). De boeien van Wandelaar (BCP) en SCW (NCP) vallen ongeveer samen en zijn in realiteit dezelfde boeien. In de ArcGIS-analyse zal enkel de boei “Wandelaar” in beschouwing worden genomen. De laatste kolom van Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3 stelt het gemiddeld jaarlijks beschikbare golfvermogen voor en wordt nader verklaard onder §III.2.2.

Een scatterdiagram wordt opgesteld op basis van data van de meetboeien op zee. Het scatter diagram beschrijft de jaarlijkse gemiddelde voorkomingsfrequentie voor een combinatie van de significante golfhoogte  $H_s$  (i.e. de rijen) en de piekperiode  $T_p$  (i.e. de kolommen) op een welbepaalde locatie [38]. Tabel III-4 geeft een voorbeeld van een scatter diagram te Westhinder (Figuur III-1).

$T_p$ [s] \ $H_s$ [m]	1,625	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7	Som
0,125		0,06	0,64	0,21	0,02		0,00		0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01		20,66
0,75	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,30	0,02		37,25
1,25		0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02		22,02
1,75			1,89	6,46	2,02	0,27	0,01		10,65
2,25			0,04	2,67	2,00	0,42	0,01		5,14
2,75				0,57	1,17	0,50	0,02		2,26
3,25				0,04	0,46	0,26	0,04	0,00	0,80
3,75					0,09	0,07	0,05	0,00	0,21
4,25					0,02	0,03	0,02	0,00	0,07
4,75					0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
5,25						0,00			0,00
5,75									0,00
6,25									0,00
Som	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100,00

Tabel III-4: Scatter diagram te Westhinder (in %)

In Bijlage A worden de scatter diagrammen weergegeven voor de beschouwde meetboeilocaties. De periode weergegeven in de scatter diagrammen in Bijlage A is voor alle locaties de gemiddelde golfperiode  $T_{m0,2}$ . Een verband tussen de piekperiode  $T_p$  en gemiddelde golfperiode  $T_{m0,2}$  wordt gegeven in §III.2.2.

## III.2 Bepaling van het beschikbaar golfvermogen

### III.2.1 Regelmatige golven in diep water

De energieflex of het golfvermogen uitgezonden door een regelmatige golfreijn over een golflengte is een maat voor het energietransport in de richting van de golfvoortplanting door een verticaal vlak loodrecht op de golfstraal over de volledige diepte beschouwd en kan geschreven worden als volgt [39], [40]:

$$P = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot C_g \quad [\text{W/m}] \quad (\text{III-1})$$

Waarbij:

- H: de golfhoogte [m]
- $C_g$ : de groepssnelheid [m/s]
- $\rho$ : massadichtheid van zeewater = 1.026 kg/m<sup>3</sup>
- g: zwaartekrachtversnelling = 9,81 m/s<sup>2</sup>

De groepssnelheid kan op zijn beurt gedefinieerd worden volgens:

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot \frac{L}{T} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{III-2})$$

Waarbij:

- d: de waterdiepte [m]
- L: de golflengte [m]
- T: de golfperiode [s]
- k: het golfgetal [rad/m]

Verder worden golflengte en golfgetal bepaald via:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh(kd) \quad [\text{m}] \quad (\text{III-3}) \quad \text{en} \quad k = \frac{2 \cdot \pi}{L} \quad [\text{rad/m}] \quad (\text{III-4})$$

Hierbij mag in diep water worden uitgegaan van volgend verband voor de groepssnelheid en de golflengte:

$$C_{g0} = \frac{g \cdot T}{4 \cdot \pi} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{III-5}) \quad \text{en} \quad L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \quad [\text{m}] \quad (\text{III-6})$$

Uit formule (III-1) en (III-5) wordt het golfvermogen in diep water voor regelmatige golven afgeleid:

$$P_0 = \frac{1}{32 \cdot \pi} \cdot \rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \quad [\text{W/m}] \quad (\text{III-7})$$

### III.2.2 Werkelijke zeetoestand

Het in rekening brengen van een werkelijke zeetoestand (real sea state) vergt een wijziging van de formule (III-1) voor de bepaling van het golfvermogen:

$$P(f) = \int \rho \cdot g \cdot C_g \cdot S(f) df \quad [\text{W/m}] \quad (\text{III-8})$$

Met:

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right] \cdot \sqrt{\frac{g}{k} \cdot \tanh(k \cdot d)} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{III-9})$$

Hierbij wordt uitgegaan van volgend Jonswap spectrum:

$$S(f) = \alpha \cdot H_s^2 \cdot f_p^4 \cdot f^{-5} \cdot \gamma^\beta \cdot \exp\left(-\frac{5}{4} \cdot \left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right) \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}] \quad (\text{III-10})$$

Waarbij:

$$\alpha = \frac{0,0624}{0,23 + 0,0336 \cdot \gamma - \left(\frac{0,185}{1,9 + \gamma}\right)} \quad [-] \quad (\text{III-11})$$

$$\beta = \exp\left(-\frac{(f - f_p)^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot f_p^2}\right) \quad [-] \quad (\text{III-12})$$

$$\sigma = 0,07 \quad f \leq f_p \quad [-]$$

$$\sigma = 0,09 \quad f \geq f_p \quad [-]$$

- Voor  $\gamma$  wordt uitgegaan van 3,3 voor de Noordzee

De formule ter bepaling van de golflengte wordt in dit geval gegeven door de vergelijking van L. Echart:

$$L \cong \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\tanh\left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot d}{T^2 \cdot g}\right)} \quad [\text{m}] \quad (\text{III-13})$$

De meetboeidata in de scatter diagrammen (Bijlage A) bevatten de periodes gemiddelde golfperiode  $T_{m0,2}$ . Een verband tussen  $T_{m0,2}$  en de piekperiode  $T_p$  wordt voor een Jonswap spectrum gegeven door formule (III-14).

$$T_p = 1,3 \cdot T_{m0,2} \quad [s] \quad (\text{III-14})$$

De theoretische beschikbare golfvermogens per meetboei en per continentaal plat worden weergegeven onder §III.1 in Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3.

### III.3 Variaties van het golfklimaat in de tijd

In de verdere analyse zal de variatie van de beschikbare golfenergie in de tijd belangrijk zijn. De tijdsvariatie weerspiegelt namelijk de betrouwbaarheid van een locatie m.b.t. een gelijkmatige elektriciteitsproductie. In [39] wordt melding gemaakt van een dagelijkse, wekelijkse, maandelijkse variatie en van een seizoensvariatie van het golfvermogen. Enkel op de maandelijkse en seizoensvariatie van het beschikbaar golfvermogen wordt in [39] verder ingegaan.

#### *III.3.1 Seizoensvariatie van het beschikbaar golfvermogen*

De seizoenen strekken zich in [39] over volgende maanden uit:

- Lente: maart – mei
- Zomer: juni – augustus
- Herfst: september – november
- Winter: december – februari

De seizoensvariatie van het beschikbare golfvermogen wordt verder aangeduid met de seizoensvariabiliteitsindex of kortweg SV (Seasonal Variability Index):

$$SV = \frac{P_{S1} - P_{S4}}{P_{jaar}} \quad [-] \quad (\text{III-15})$$

Waarbij:

- $P_{S1}$  : het beschikbaar golfvermogen tijdens het meest energetische seizoen [kW/m]
- $P_{S4}$  : het beschikbaar golfvermogen tijdens het minst energetische seizoen [kW/m]
- $P_{jaar}$ : het jaarlijkse beschikbare golfvermogen over de vier seizoenen [kW/m]

#### *III.3.2 Maandelijks variatie van het beschikbare golfvermogen*

In wat volgt, zal enkel rekening worden gehouden met de variatie in de maanden. Dit is een gevolg van de beschikbaarheid van de data gezien:

- Voor het BCP: enkel data van de maanden voor de boeien Akkaert en Westhinder ter beschikking zijn.

- Voor het NCP: enkel data per 2 maanden beschikbaar zijn.
- Voor het DCP: geen data ter beschikking zijn.

De bepaling van de beschikbare golfvermogens per 2 maand voor de boeien in Nederland (NCP) wordt berekend op basis van formule (III-8). De data voor het beschikbaar golfvermogen van het BCP zijn reeds beschikbaar per maand. Er wordt bijgevolg over de 2 maanden steeds een gemiddelde genomen. Tabel III-5 geeft de berekende resultaten weer in kW/m.

	Jan-Feb	Maa-Apr	Mei-Jun	Jul-Aug	Sep-Okt	Nov-Dec	Gemiddelde
<b>België</b>							
Akkaert	5,28	3,26	2,43	2,09	4,36	4,64	3,68
Westhinder	7,05	4,25	3,31	2,49	4,87	6,11	4,68
<b>Nederland</b>							
ELD	14,98	8,40	4,53	4,82	10,74	14,97	9,74
EUR	10,45	5,98	3,59	3,65	7,63	10,44	6,95
K13	16,90	9,43	4,76	4,75	11,90	16,48	10,70
LEG	8,83	5,27	3,28	3,44	6,59	8,90	6,05
MPN	8,01	4,54	2,65	2,97	6,01	7,89	5,34
SCW	4,24	3,03	2,11	2,04	3,31	4,25	3,16
SON	10,55	6,75	3,95	4,25	8,03	10,61	7,35
SWB	7,89	4,88	3,07	3,15	5,98	7,97	5,49
YM6	13,19	7,31	3,94	4,26	9,67	13,15	8,59

Tabel III-5: Golfvermogen per 2 maanden (in kW/m) in België en Nederland

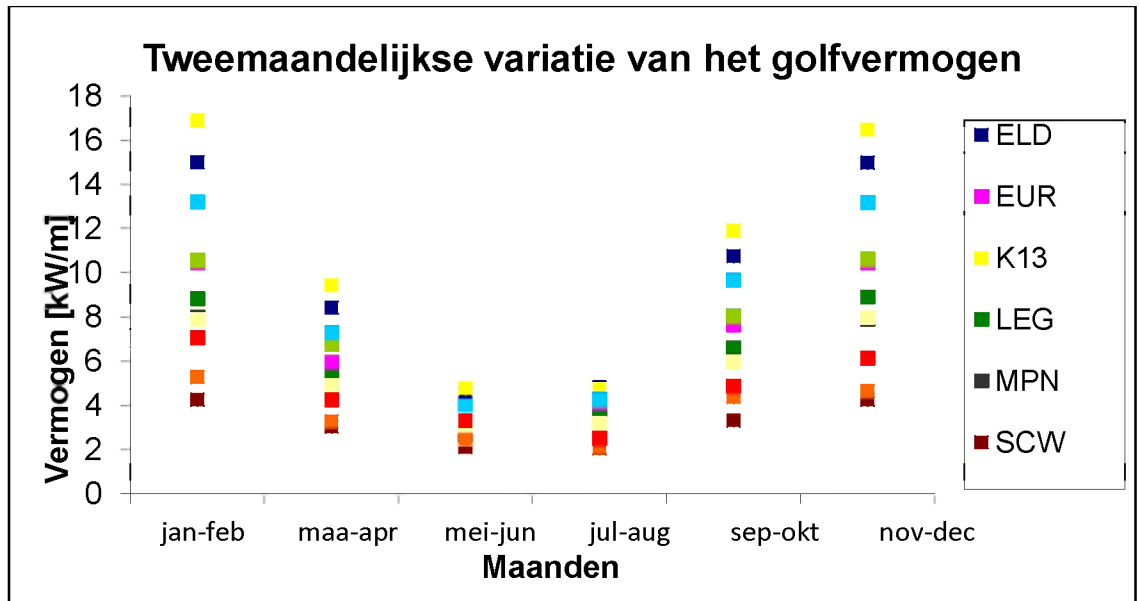
Als de gemiddelde waarden uit Tabel III-5 worden vergeleken met de waarden vermeld in §III.1 dan wordt slechts een verwaarloosbaar verschil vastgesteld. Een weergave van de berekende waarden in een grafiek (Figuur III-2) leert dat de variatie des te sterker wordt naarmate het gemiddeld beschikbare golfvermogen toeneemt en naarmate de boeien verder in zee (bijvoorbeeld K13, Figuur III-1) gelegen zijn en zich noordelijker (bijvoorbeeld ELD en EUR, Figuur III-1) bevinden.

Analoog aan de seizoensvariabiliteitsindex, wordt een maandelijkse variabiliteitsindex of MV (Monthly Variability Index) gedefinieerd:

$$MV = \frac{P_{M1} - P_{M12}}{P_{jaar}} [-] \quad (III-16)$$

Waarbij:

- $P_{M1}$ : het beschikbaar golfvermogen van de 2 opeenvolgende maanden met het grootste beschikbare golfvermogen [kW/m].
- $P_{M6}$ : het beschikbaar golfvermogen van de 2 opeenvolgende maanden met het minimale beschikbare golfvermogen [kW/m].
- $P_{jaar}$ : het beschikbaar golfvermogen gegeven onder §III.1.



Figuur III-2: Maandelijksse variatie van het golfvermogen (in kW/m)

### III.4 Variaties van het golfklimaat volgens de richting

Afhankelijk van het type toestel, zal de overheersende richting van de meest energetische golf al dan niet een rol spelen. De Pelamis is niet golfrichtingsafhankelijk, de Wave Dragon is beperkt golfrichtingsafhankelijk en de SSG is volledig golfrichtingsafhankelijk. Er wordt een directionele index of DI gedefinieerd:

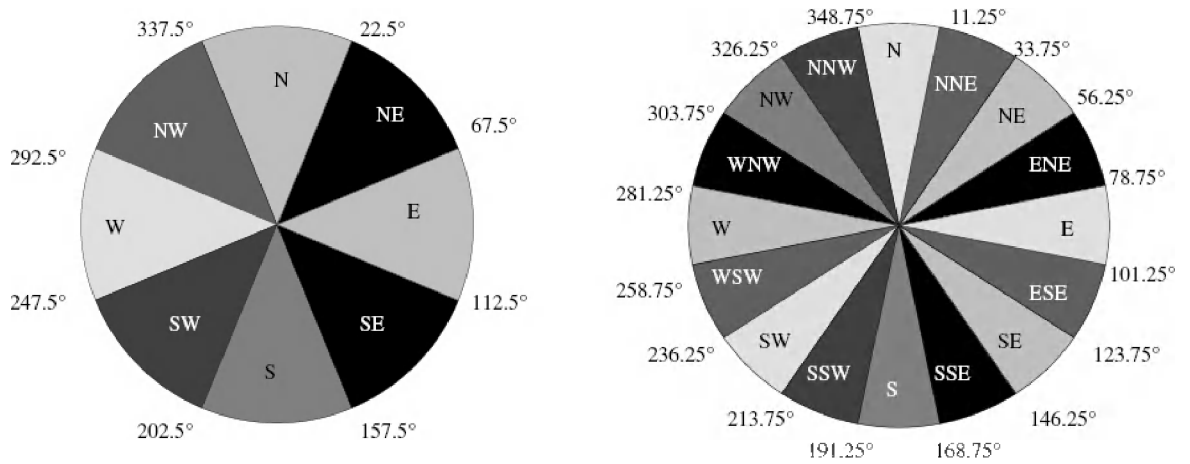
$$DI = \frac{P_{SEC\_max}}{P_{jaar}} \quad [-] \quad (III-17)$$

Waarbij:

- $P_{SEC\_max}$ : het golfvermogen berekend uit 4 aan elkaar grenzende sectoren (i.e.  $180^\circ$ ) met de maximale beschikbare golfenergie.
- $P_{jaar}$ : zie §III.1.

Voor de data van België en Nederland ter bepaling van de invloed van de richtingen wordt uitgegaan van de directionele windgegevens. Voor alle boeien op het Nederlands Continentaal Plat met uitzondering van de boeien LEG, SCW en SWB zijn directionele golfdata beschikbaar. Voor de uniformiteit van de data wordt daarom gebruikgemaakt van directionele winddata voor alle boeien van het NCP. De betrouwbaarheid van deze directionele winddata is goed voor offshore locaties en minder betrouwbaar voor nearshore sites [39]. Analoog wordt voor het BCP uitgegaan van directionele winddata, vermits enkel directionele golfdata beschikbaar zijn voor de boei te Oostende en de Bol van Heist. Voor het Duits Continentaal Plat zijn enkel directionele golfdata beschikbaar voor de meetboei Fino-Borkumriff.

Het aantal sectoren in rekening gebracht bedraagt 8 (Figuur III-3) vermits het aantal beschikbare sectoren met golfboeimeetgegevens in Nederland 8 bedraagt. Voor de data van België zijn 16 sectoren (Figuur III-3) beschikbaar en is een uitmiddeling en reductie gebeurd naar 8 sectoren voor de uniformiteit van de latere gegevensverwerking in ArcGIS. De beschikbare golfvermogens (in kW/m) per richting, in Tabel III-6 weergegeven, worden berekend op basis van formule (III-8).



**Figuur III-3: Sectoren gebruikt voor golfboeimeetgegevens (links: 8 sectoren; rechts: 16 sectoren)**

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	SOM
<b>België</b>									
Akkaert	0,38	0,52	0,35	0,06	0,27	0,94	0,55	0,52	3,59
Bol van Heist	0,27	0,25	0,11	0,04	0,19	0,58	0,57	0,49	2,50
OostendeDW	0,22	0,23	0,13	0,02	0,07	0,33	0,36	0,38	1,74
OostendeW	0,19	0,24	0,16	0,02	0,07	0,35	0,25	0,31	1,59
Trapegeer	0,19	0,23	0,16	0,01	0,06	0,33	0,23	0,28	1,50
Wandelaar	0,35	0,27	0,26	0,06	0,18	0,51	0,46	0,50	2,60
Westhinder	0,56	0,52	0,29	0,11	0,35	1,34	0,72	0,66	4,55
<b>Nederland</b>									
ELD	1,18	0,51	0,45	0,19	0,84	1,83	3,03	1,83	9,86
EUR	0,90	0,48	0,34	0,13	0,82	1,75	1,62	1,01	7,05
K13	1,46	0,66	0,84	0,36	1,12	1,97	2,55	1,85	10,81
LEG	0,86	0,42	0,24	0,07	0,48	1,38	1,67	0,99	6,11
MPN	0,68	0,23	0,14	0,06	0,38	1,29	1,62	1,04	5,44
SCW	0,57	0,32	0,18	0,04	0,17	0,55	0,82	0,58	3,23
SON	1,14	0,39	0,41	0,11	0,34	0,86	2,32	1,88	7,45
SWB	0,78	0,45	0,28	0,07	0,44	1,26	1,42	0,87	5,57
YM6	0,98	0,45	0,38	0,18	1,00	2,02	2,28	1,39	8,68
<b>Duitsland</b>									
Fino	2,45	0,15	0,28	0,05	0,08	0,33	3,56	5,05	11,96

**Tabel III-6: Beschikbare golfvermogens per sector in België, Nederland en Duitsland (in kW/m)**

Een controle, met name de som over alle richtingen van de beschikbare golfvermogens in Tabel III-6 weergegeven, levert opnieuw een verwaarloosbaar verschil op ten opzichte van de beschikbare golfvermogens onder §III.1.

## III.5 Bepaling van het geproduceerde vermogen

### III.5.1 Pelamis

#### III.5.1.1 Vermogen geleverd door één Pelamis zonder diffractie

Het vermogen op één locatie geleverd door één toestel, de Pelamis in dit geval, wordt verkregen door vermenigvuldigen van de voorkomingsfrequenties van het scatter diagram met de vermogens opgenomen in de power matrix. De power matrix beschrijft in functie van de significante golfhoogte  $H_s$  (i.e. de rijen) en van de piekperiode  $T_p$  (i.e. de kolommen) het vermogen  $P$  (in kW) dat kan geleverd worden. Figuur III-5 geeft de power matrix voor de Pelamis weer die voor alle verdere berekeningen wordt aangewend.

DIAGRAM 1	1.625	3.9	5.2	6.5 ...
0.125				
0.375				
0.75				
1.25				
1.75				
2.25				
2.75				
3.25				
3.75				
...				

DIAGRAM 2	1.625	3.9	5.2	6.5 ...
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	14.2	38.5
1.5	0.0	0.0	33.2	87.0
2	0.0	0.0	74.6	154.0
2.5	0.0	6.3	108.6	226.0
3	0.0	81.9	193.2	324.0
3.5	0.0	77.4	234.0	405.0
4	22.5	204.9	339.6	513.0
...				

DIAGRAM 3	1.625	3.9	5.2	6.5 ...
0.125	0.0	0.0	0.0	0.0
0.375	0.0	0.0	0.0	0.0
0.75	0.0	0.0	7.1	19.3
1.25	0.0	0.0	23.7	62.8
1.75	0.0	0.0	53.9	120.5
2.25	0.0	3.2	91.6	189.5
2.75	0.0	44.1	150.9	274.5
3.25	0.0	79.7	213.6	364.5
3.75	11.3	141.2	286.8	459.0

Figuur III-4: Herschaling piekperioden (diagram 2) en golfhoogten (diagram 3) van de power matrix



$T_p$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	11	27	50	62	64	57	49	41	34	28	23	0	0	0	0
1,5	0	0	0	26	62	112	141	143	129	110	91	76	63	52	43	36	30	23
2	0	0	0	66	109	199	219	225	205	195	162	135	112	93	77	64	54	41
2,5	0	0	7	93	171	279	342	351	320	274	230	210	174	145	120	100	84	65
3	0	0	91	180	246	402	424	417	369	343	331	275	229	208	173	144	120	93
3,5	0	0	86	211	326	484	577	568	502	421	394	330	312	260	216	196	164	140
4	0	105	216	326	394	632	616	583	585	494	454	374	361	339	283	236	197	153
4,5	0	94	233	371	467	735	744	738	634	626	520	473	390	382	319	299	250	208
5	0	259	364	469	539	750	750	750	750	644	641	531	482	399	394	330	308	274
5,5	0	428	497	566	612	750	750	750	750	750	635	642	532	482	400	399	341	322
6	0	597	630	663	684	750	750	750	750	750	750	616	633	525	476	396	386	329
6,5	0	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	723	592	617	513	458	430	384

**Figuur III-5: Power matrix van de Pelamis (in kW) [3]**

De scatter diagramma en de power matrices kunnen niet onmiddellijk met elkaar vermenigvuldigd worden. Een herschaling van de piekperioden en van de golfhoogten van de power matrix naar de waarden volgens het scatter diagram dient te gebeuren. De herschaling gebeurt op basis van een lineaire interpolatie. Een voorbeeld van een herschalingsberekening wordt weergegeven in Figuur III-4. Het eerste diagram – een deel ervan – stelt de grenzen voor van een scatter diagram van het BCP. De periodes hierin weergegeven, zijn piekperioden  $T_p$ . Het tweede diagram stelt de verschaling van de power matrix naar de correcte piekperiode  $T_p$  voor. Tot slot, wordt in het laatste diagram de verschaling naar de significante golfhoogtes  $H_s$  gerealiseerd.

Na herschaling kunnen beide matrices met elkaar vermenigvuldigd en worden. Alle waarden van de nieuwe matrix worden vervolgens opgeteld en het geproduceerde vermogen voor één Pelamis te Westhinder wordt dan gevonden: 52,03 kW. De volgorde van de locaties met het grootste gemiddelde beschikbare golfvermogen (Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3), verschilt voor enkele boeien in vergelijking met de volgorde van de geproduceerde vermogens in Tabel III-7 weergegeven. Voor 3 paar boeien dient de onderlinge volgorde omgewisseld te worden:

- Wandelaar (BCP) – Bol van Heist (BCP)
- K13 (NCP) – Fino (DCP)
- SON (NCP) – EUR (NCP)

Als de bepaling van het geproduceerde vermogen voor verschillende rijen Pelamissen dient te gebeuren, dan moet de verhouding van het geproduceerde vermogen tot het beschikbare golfvermogen berekend worden. Het beschikbare golfvermogen voor de Pelamis is de beschikbare golfbreedte over het toestel (154,5 m) ([3], [41]) vermenigvuldigd met het gemiddeld beschikbaar golfvermogen op de desbetreffende locatie. Voor Westhinder is het gemiddeld beschikbaar golfvermogen 4,64 kW/m.

De absorptie bedraagt dan 7,26%:

$$\frac{P_{toestel\_1^e rij}}{P_{beschikb\_1^e rij}} = \frac{52,03}{154,5 \cdot 4,64} = 7,26 \quad [\%] \quad (III-17)$$

Het beschikbaar golfvermogen voor de tweede rij bedraagt vervolgens:

$$P_{beschikb\_2^e rij} = P_{beschikb\_1^e rij} \cdot (1 - 0,0726) = 154,5 \cdot 4,64 \cdot (1 - 0,0726) = 664,83 \quad [\text{kW}] \quad (III-18)$$

Het geproduceerde vermogen door één Pelamis op de 2<sup>de</sup> rij wordt tot slot gegeven door:

$$P_{toestel\_2^e rij} = 52,03 \cdot (1 - 0,0726) = 48,25 \quad [\text{kW}] \quad (III-19)$$

De methode kan nu herhaald worden tot het aantal te beschouwen rijen in het golfenergieconvertorpark. Tabel III-7 biedt een overzicht van het geproduceerde vermogen en het verlies t.o.v. de volgende rij voor één toestel en voor een totaal van 10 rijen. Het verlies bedraagt steeds 7,28 % t.o.v. de vorige rij.

	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Verlies [%]</b>
1ste rij	52,03	0,00
2de rij	48,24	7,28
3de rij	44,73	7,28
4de rij	41,47	7,28
5de rij	38,45	7,28
6de rij	35,65	7,28
7de rij	33,06	7,28
8ste rij	30,65	7,28
9de rij	28,42	7,28
10de rij	26,35	7,28

**Tabel III-7: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v. van de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen zonder diffractiecoëfficiënt**

### ***III.5.1.2 Vermogen bepaald met een vaste diffractiecoëfficiënt***

De finale doelstelling is de realisatie van een volledig golfenergieconvertorpark. Voor de bepaling van het volledig geproduceerde vermogen van een park moet rekening worden gehouden met diffractie. Diffractie wordt in [40] gedefinieerd als het ontstaan van golven in de schaduwzone van een constructie ten opzichte van de aankomende golven. In [3] wordt het verschijnsel van de vaste en variabele diffractiecoëfficiënt besproken. De methode van berekenen voor de vaste diffractiecoëfficiënt wordt kort hernomen en de analyse wordt uitgebreid van 3 achter elkaar liggende rijen Pelamissen tot 10 rijen.

Per rij van golfenergieconvertoren wordt een vaste diffractiecoëfficiënt berekend. De diffractiecoëfficiënt  $K'$  is voor alle golfhoogtes dezelfde en wordt als volgt gedefinieerd:

$$K' = \sqrt{\frac{H_{s\_nieuw}^2}{H_{s\_oud}^2}} = \sqrt{\frac{P_{beschikb\_2^e\ rij}}{P_{beschikb\_1^e\ rij}}} \quad [-] \quad (III-20)$$

De diffractiecoëfficiënt wordt vervolgens vermenigvuldigd met de oorspronkelijke hoogtes  $H_s$  uit het scatter diagram. Met de nieuwe hoogtes  $H'_s$  kan met de onder §III.2.2 beschreven formules het nieuwe gemiddeld beschikbare golfvermogen bepaald worden. Het nieuw gemiddeld beschikbare golfvermogen bedraagt: 4,3 kW/m. In Bijlage A wordt een overzicht gegeven van de gewijzigde scatter diagrammen na diffractie voor de referentiediepte 6,5 m. De periode weergegeven in de scatter diagrammen in Bijlage A is voor alle locaties de gemiddelde golfperiode  $T_{m0,2}$ .

De power matrix dient evenzeer gewijzigd te worden en moet opnieuw worden herschaald naar de nieuwe significante golfhoogten  $H'_s$ . Het geproduceerde vermogen op de 2<sup>de</sup> rij kan vervolgens bepaald worden uit het product van de nieuwe power matrix met de voorkomingsfrequenties in het scatter diagram. Tot slot wordt een nieuwe diffractiecoëfficiënt  $K''$  bepaald voor de 3<sup>de</sup> rij. De methode wordt herhaald t.e.m. de 10<sup>de</sup> rij. Tabel III-8 geeft het geproduceerde vermogen en het verlies t.o.v. de volgende rij voor één toestel en voor een totaal van 10 rijen. Het verlies t.o.v. van de volgende rij schommelt nu en bedraagt gemiddeld 7,34%. Het geproduceerde vermogen verschilt nauwelijks in vergelijking met de methode zonder diffractie.

	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Verlies [%]</b>
1ste rij	52,03	0,00
2de rij	48,47	6,85
3de rij	45,02	7,12
4de rij	41,71	7,35
5de rij	38,63	7,39
6de rij	35,86	7,17
7de rij	33,21	7,39
8ste rij	30,79	7,27
9de rij	28,42	7,71
10de rij	26,20	7,81

**Tabel III-8: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v. de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen met vaste diffractiecoëfficiënt**

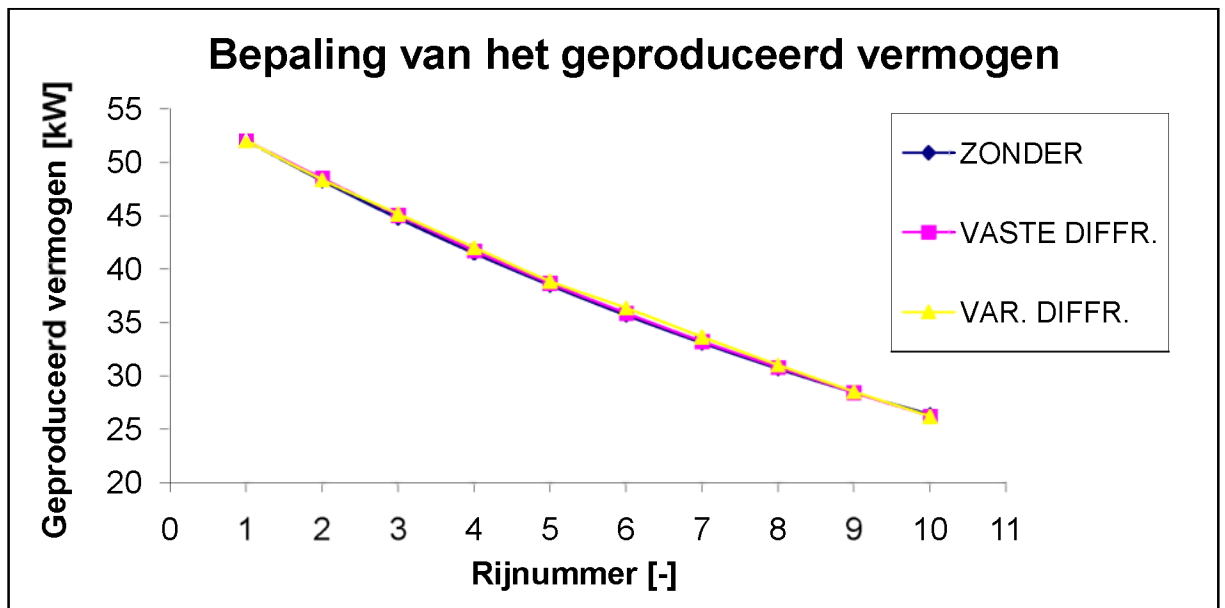
### ***III.5.1.3 Vermogen bepaald met een variabele diffractiecoëfficiënt***

In volgende methode wordt uitgegaan van een diffractiecoëfficiënt die wijzigt voor elke significante golfhoogte  $H_s$ . Per rij in het scatter diagram zal dus een diffractiecoëfficiënt  $K'_i$  berekend worden. De diffractiecoëfficiënt in een bepaalde rij berekend wordt vervolgens vermenigvuldigd met de overeenstemmende significante golfhoogte  $H_{si}$ . Het gemiddeld beschikbare golfvermogen moet nu steeds per rij berekend worden ter bepaling van de diffractiecoëfficiënten  $K_i$  en zal voor een nieuwe rij steeds herrekend worden (Bijlage A). Tabel III-9 stelt het geproduceerde vermogen en het verlies t.o.v. de volgende rij voor één toestel en voor een totaal van 10 rijen voor. Het gemiddelde verlies bedraagt in dit geval 7,34%. Ook hier zijn de verschillen relatief klein in vergelijking met de methode zonder diffractie en de methode m.b.v. de vaste diffractiecoëfficiënt.

	Geproduceerd vermogen [kW]	Verlies [%]
1ste rij	52,03	0,00
2de rij	48,37	7,04
3de rij	45,14	6,68
4de rij	42,00	6,95
5de rij	38,86	7,48
6de rij	36,34	6,47
7de rij	33,62	7,48
8ste rij	31,01	7,78
9de rij	28,51	8,04
10de rij	26,18	8,16

Tabel III-9: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v. de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen met variabele diffractiecoëfficiënt

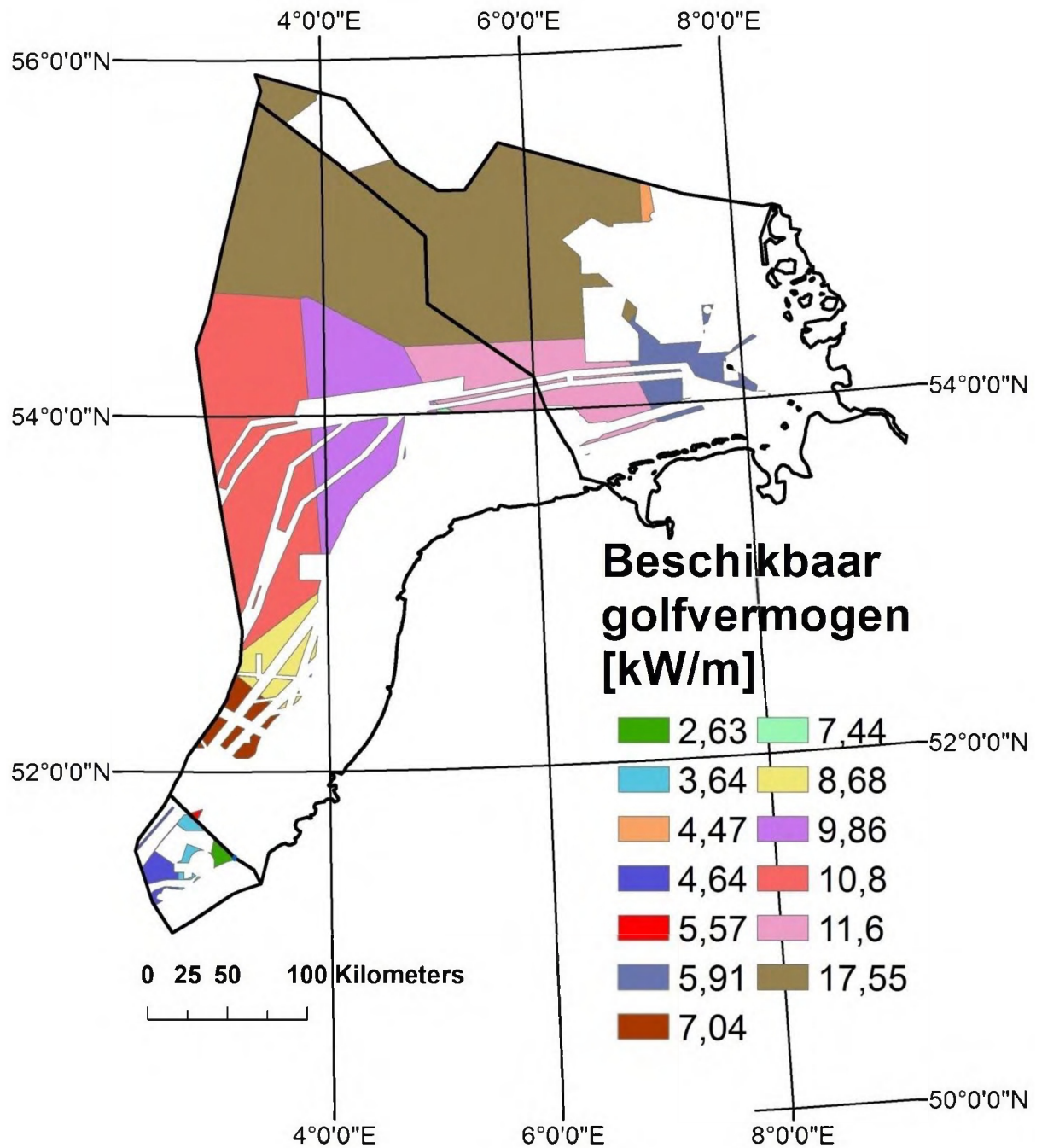
Tot slot worden de resultaten van de verschillende methodes in Figuur III-6 met elkaar vergeleken. De 3 curves liggen nagenoeg op elkaar. In wat volgt zal voor berekeningen van het geproduceerde vermogen van een golfenergieconvertorpark voor andere meetlocaties worden uitgegaan van een verlies van 7,34% t.o.v. een vorige rij.



Figuur III-6: Vergelijking van de methode zonder, met vaste en met variabele diffractiecoëfficiënt

#### III.5.1.4 Potentieel van het BCP, NCP en DCP

De oppervlakte die na uitsluiting van alle beperkingen nog beschikbaar blijft kan men via ArcGIS 9.2 eenvoudig bepalen. De resterende bruikbare oppervlakte bedraagt op het BCP 728 km<sup>2</sup>, op het NCP 31.556 km<sup>2</sup> en op het DCP 16.997 km<sup>2</sup>. Figuur III-7 geeft de totale beschikbare golfvermogens weer in de veronderstelling dat de beschikbare oppervlakte volledig wordt toegewezen ter exploitatie van golfenergie.



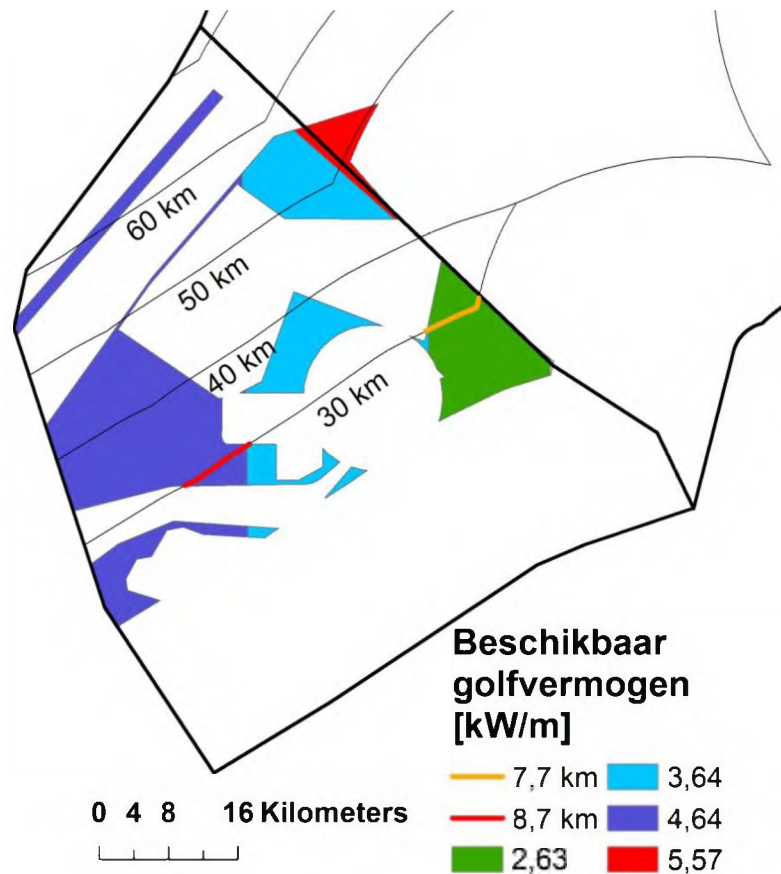
**Figuur III-7: Beschikbare golfvermogen [kW/m] na uitsluiting van de beperkingen op het BCP, NCP en DCP**

Het is ook mogelijk in functie van de afstand tot de kust het beschikbare golfvermogen in kW/m weer te geven. Dit kan als volgt bepaald worden:

- Op een bepaalde afstand van de kust, bijvoorbeeld 30 km van de Belgische kust, wordt een buffer vastgelegd (Figuur III-8).
- De rode en oranje lijn op Figuur III-8 geven de beschikbare afstanden weer, respectievelijk 8,7 km en 7,7 km.

- Deze afstanden worden vermenigvuldigd met het beschikbaar golfvermogen op de locaties (respectievelijk 4,64 kW/m en 2,63 kW/m).
- Beide producten worden gesommeerd en gedeeld door de totale afstand (16,4 km). Dit levert een gemiddeld beschikbaar golfvermogen van 3,70 kW/m.

Het beschikbare golfvermogen in kW/m varieert sterk in functie van de afstand tot de kust. De variatie is te wijten aan de versnippering van de resterende bruikbare oppervlakten (Figuur III-7 en Figuur III-8). Het is bijgevolg onmogelijk om op alle afstanden van de kust het beschikbare golfvermogen te berekenen.



Figuur III-8: Bepaling van het beschikbaar golfvermogen [kW/m] op een afstand van 30 km van de kust voor het BCP

### **III.5.2 SSG**

#### **III.5.2.1 Vermogen geleverd zonder het effect van shoaling en breking**

Het vermogen door de SSG geleverd, wordt gevonden uit het product van de power matrix van de SSG met de voorkomingsfrequenties uit het scatter diagram. De methode is analoog aan deze beschreven onder de bepaling van het vermogen zonder diffractie bij de Pelamis (§III.5.1.1). Figuur III-9 geeft de gebruikte power matrix weer.

Tabel III-10 biedt een overzicht van de geproduceerde vermogens (in kW) voor het BCP, NCP en DCP indien geen rekening wordt gehouden met de effecten van shoaling, breking en refractie (2<sup>de</sup> kolom, met de oorspronkelijke diepte van de boei). De volgorde van de locaties met het grootste gemiddelde beschikbare golfvermogen (Tabel III-1, Tabel III-2 en Tabel III-3), verschilt voor enkele boeien in vergelijking met de volgorde van de geproduceerde vermogens in Tabel III-10 weergegeven. Voor 3 paar boeien dient de onderlinge volgorde omgewisseld te worden:

- Wandelaar (BCP) – Bol van Heist (BCP)
- LEG (NCP) – Helgoland (DCP)
- SON (NCP) – EUR (NCP)

#### **III.5.2.2 Vermogen geleverd met het effect van shoaling en breking**

Bovenstaande methode is slechts een benadering van de bepaling van het geleverde vermogen. De SSG is namelijk een toestel dat in een golfbreker langs de kust geplaatst wordt. Shoaling, refractie en breking zullen dus optreden. De significante golfhoogten  $H_s$  in het scatter diagram zullen wijzigen in functie van de golfhoogte en de wijzigende diepte. De periode daarentegen wijzigt niet. Bovenvermelde effecten worden in [40] beschreven.

#### **Shoaling**

Shoaling treedt op als een golf zich van diep water naar ondiep water voortplant. Hierbij wordt ondersteld dat de golfkammen evenwijdig lopen met de dieptelijnen. De hoogte na shoaling  $H_{sh}$  wordt verkregen door vermenigvuldiging van de oorspronkelijke significante golfhoogte  $H_{s0}$  met de shoalings- of ondiepwatercoëfficiënt  $K_{sh}$ :

$$K_{sh} = \sqrt{\frac{C_0}{2 \cdot n' \cdot C'}} \quad [-] \quad (\text{III-21})$$



$T_p$ [s] $H_s$ [m]	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	10	10,5	11	11,5
0,5	99	109	119	129	139	149	159	169	189	198	208	218	228
1	397	437	476	516	556	595	635	675	754	794	833	873	913
1,5	893	982	1072	1161	1250	1340	1429	1518	1697	1786	1875	1965	2054
2	1588	1746	1905	2064	2223	2381	2540	2699	3016	3175	3334	3493	3651
2,5	2481	2729	2977	3225	3473	3721	3969	4217	4713	4961	5209	5457	5705
3	3572	3929	4287	4644	5001	5358	5715	6073	6787	7144	7501	7859	8216
3,5	4862	5348	5834	6321	6807	7293	7779	8265	9238	9724	10210	10696	11183
4	6350	6985	7620	8256	8891	9526	10161	10796	12066	12701	13336	13971	14606
4,5	8037	8841	9645	10448	11252	12056	12860	13663	15271	16074	16878	17682	18486
5	9923	10915	11907	12899	13892	14884	15876	16868	18853	19845	20000	20000	20000
5,5	12006	13207	14407	15608	16809	18009	19210	20000	20000	20000	20000	20000	20000
6	14288	15717	17146	18575	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
6,5	16769	18446	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000

**Figuur III-9: Power matrix van de SSG (in kW) [20]**

Formule (III-21) berust op een behoud van vermogen tussen de overgang van diep naar ondiep water en kan veralgemeend worden als van de overgangszone (de zone tussen diep en ondiep water) naar ondiep water wordt overgegaan:

$$K_{sh} = \sqrt{\frac{n \cdot C}{n' \cdot C'}} \quad [-] \quad (\text{III-22})$$

Waarbij:

- Voor het oorspronkelijke gebied:

$$n = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \quad [-] \quad (\text{III-23}) \quad \text{en} \quad C = \sqrt{\frac{g}{k} \cdot \tanh(k \cdot d)} \quad [-] \quad (\text{III-24})$$

- Voor het nieuwe gebied:

$$n' = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot k' \cdot d'}{\sinh(2 \cdot k' \cdot d')} \right) \quad [-] \quad (\text{III-25}) \quad \text{en} \quad C' = \sqrt{\frac{g}{k'} \cdot \tanh(k' \cdot d')} \quad [-] \quad (\text{III-26})$$

Praktisch zal voor elke golfhoogte van het scatter diagram in functie van de periode en alternerende diepte een shoalingscoëfficiënt worden bepaald. De coëfficiënt wordt vervolgens vermenigvuldigd met de oorspronkelijke golfhoogte ter bepaling van de nieuwe significante golfhoogte. Voor de nieuwe hoogte wordt tot slot gecontroleerd of deze alsnog binnen de grenzen van het scatter diagram valt waartussen de oorspronkelijke golfhoogte lag. De grenzen van het scatter diagram blijven dus ongewijzigd. Als de nieuwe golfhoogte tussen de oorspronkelijke grenzen ligt, wijzigt de voorkomingsfrequentie niet. Is dit niet het geval, dan wordt de voorkomingsfrequentie opgeteld bij de voorkomingsfrequentie van het juiste interval en nadien wordt de voorkomingsfrequentie van het niet meer geschikte interval aan nul gelijkgesteld.

Er dient opgemerkt te worden dat de hierboven uiteengezette methode evenzeer zou kunnen toegepast worden voor diffractie (§III.5.1.2 en §III.5.1.3). De methode voor diffractie zou dan als volgt zijn. De gewijzigde golfhoogte na diffractie wordt bepaald. Vervolgens wordt gecontroleerd of de hoogte na diffractie binnen de oorspronkelijke grenzen van het scatter diagram valt. Is dit niet het geval dan wordt de voorkomingsfrequenties opgeteld bij de voorkomingsfrequentie van het correcte interval; de voorkomingsfrequentie behorende tot het oorspronkelijke interval wordt vervolgens gelijk aan nul gesteld. Met het nieuwe scatter diagram na diffractie kan vervolgens het beschikbare golfvermogen bepaald worden. Ook kan het geproduceerde vermogen na diffractie worden bepaald. Uit het nieuwe gemiddelde geproduceerde vermogen en het nieuwe beschikbare golfvermogen kan vervolgens een volgende diffractiecoëfficiënt bepaald worden. Er is niet onderzocht of de resultaten verschillen tussen beide methodes.

## Refractie

Refractie treedt op indien de golven onder een hoek de kust naderen en in minder diep water terechtkomen. Verder zal ondersteld worden dat de golven loodrecht op de kust invallen en aldus geen refractie optreedt.

## Breking

Bij breking worden 3 gevallen onderscheiden: diep water, overgangsgebied en ondiep water.

- Diep water

In diep water en op de kust is de golfhoogte beperkt door de golfsteilheid  $s$  ( $s = H/L$ ) waarbij  $s$  oploopt tot 0,05 à 0,07. In dit geval wordt 0,05 aangenomen.

- Het overgangsgebied

In het overgangsgebied breekt volgens MICHE de golf als:

$$s = 0,142 \cdot \tanh(k \cdot d) \quad [-] \quad (\text{III-27})$$

- Ondiep water

Tot slot wordt voor ondiep water volgens SVASEK voor de Zuidelijke Noordzee de brekerdiepte-index  $\gamma$  gedefinieerd:

$$\gamma = \frac{H_b}{d_b} = 0,45 \quad [-] \quad (\text{III-28})$$

Waarbij:

- $H_b$ : de brekerhoogte [m]
- $d_b$ : de brekerdiepte [m]

Praktisch, wordt in functie van de zone (ondiep, overgang of diep) waarin de golf zich bevindt, een brekerhoogte bepaald. Alle voorkomingsfrequenties horende bij golfhoogten groter dan de berekende brekerhoogte worden opgeteld bij de voorkomingsfrequentie voor de brekerhoogte. Vervolgens worden de voorkomingsfrequenties horende bij golfhoogtes groter dan de brekerhoogte aan nul gelijkgesteld zodat de som nog steeds 100% blijft. De berekende scatter diagrammen van shoaling en breking zijn terug te vinden in Bijlage A.

Tot slot kan het nieuwe scatter diagram vermenigvuldigd worden met de power matrix ter bepaling van het uiteindelijk geproduceerde vermogen door de SSG. Een overzicht van de berekende geproduceerde vermogens in functie van de locatie wordt gegeven in Tabel III-10 voor een diepte van 6,5 m. De verschillen tussen beide kolommen in Tabel III-10 zijn heel klein. Enkel in Duitsland worden sterke toenames waargenomen. De sterke toename in geproduceerd

vermogen voor deze locaties is te wijten aan het grote diepteverschil tussen de oorspronkelijke diepte en de nieuwe diepte (i.e. 6,5 m) enerzijds. Anderzijds speelt het verschil in definiëring van de grenzen in de scatterdiagrammen voor België, Nederland en Duitsland een rol (Bijlage A). De grenzen voor Nederland (0 m – 1 m, 1 m – 2 m, ...) zijn zo groot dat de nieuwe golfhoogtes na shoaling en breking in de oorspronkelijke grenzen van het scatterdiagram vallen. Dit resulteert in een zelfde geproduceerd vermogen na shoaling en breking.

	Zonder breking en zonder shoaling	Met breking en shoaling
<b>België</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>
Westhinder	794,61	795,86
Wandelaar	393,20	393,20
Trapegeer	198,82	198,82
Oostende	256,30	256,30
Bol van Heist	401,62	401,62
Akkaert	571,56	572,12
<b>Nederland</b>		
ELD	1530,80	1563,50
EUR	1111,16	1113,32
K13	1720,74	1739,64
LEG	903,19	904,69
MPN	799,24	806,23
SCW	412,36	412,75
SON	1088,00	1112,30
SWB	814,69	817,72
YM6	1306,96	1325,77
<b>Duitsland</b>		
Fino	1774,02	1966,59
Helgoland	871,82	945,82
NSBII	2736,39	2928,83
Westerland	656,40	687,15

Tabel III-10: Geproduceerde vermogens per meetboei voor de SSG (in kW)

### **III.5.3 Wave Dragon**

#### **III.5.3.1 Vermogen geleverd zonder het effect van shoaling en breking**

Analoog aan de methode ter bepaling van het vermogen van de SSG zonder de effecten van shoaling en breking, kan het vermogen worden bepaald voor de Wave Dragon m.b.v. de power matrix. Het betreft in dit geval een schaalmodel waarvan slechts 5 waarden uit de power matrix

(Figuur III-10) beschikbaar zijn [42]. Voor de andere waarden in de power matrix is 0 aangenomen.

$T_p$ [s] \ $H_s$ [m]	2,8	3,6	4,1	4,6	5	6
0,22	1	-	-	-	-	-
0,44	-	5	-	-	-	-
0,67	-	-	11	-	-	-
0,89	-	-	-	20	-	-
1,11	-	-	-	-	23	-
1,5	-	-	-	-	-	-

**Figuur III-10: Power matrix voor de Wave Dragon (in kW) [42]**

Gezien slechts 5 waarden beschikbaar zijn in de power matrix wordt er voor geopteerd om een geproduceerd vermogen voor een vaste significante golfhoogte te bepalen. Aan de onbekende waarden in de power matrix wordt nul toegekend. Dit houdt bijgevolg een benadering in, een benadering die noodzakelijk is gezien de beperkte beschikbaarheid aan data.

De methode voor een vaste significante golfhoogte is als volgt: eerst treedt de gekende herschaling naar de piekperiode  $T_p$  en de significante golfhoogte  $H_s$  op. Vervolgens wordt per piekperiode  $T_p$ , het vermogen (in functie van de variërende  $H_s$  in de power matrix weergegeven) gesommeerd over de beschouwde piekperiode. Analoog worden de voorkomingsfrequenties in het scatter diagram voor de beschouwde periode in functie van de golfhoogte gesommeerd. De twee gesommeerde waarden (nl het gesommeerde vermogen en de gesommeerde frequenties) die worden verkregen, worden met elkaar vermenigvuldigd. De werkwijze wordt herhaald voor elke piekperiode  $T_p$  en de waarden worden vervolgens opgeteld, wat het geproduceerde vermogen oplevert. Een analoge werkwijze wordt gevolgd ter bepaling van het geproduceerde vermogen voor een vaste piekperiode.

### ***III.5.3.2 Vermogen geleverd met het effect van shoaling en breking***

Gezien het schaalmodel en de bijhorende power matrix ontworpen zijn voor een diepte van 6,5 m, zal ook in dit geval rekening moeten worden gehouden met de effecten van shoaling en breking. Het toestel zal namelijk eerder in een rustiger golfklimaat en nabij de kust geplaatst worden. Ook hier wordt refractie niet in rekening gebracht. De resultaten worden weergegeven in Tabel III-11 voor respectievelijk een vaste golfhoogte en een vaste piekperiode. M.b.t. een vaste significante golfhoogte kan gesteld worden dat België beter scoort dan Nederland en Duitsland in tegenstelling tot de volgorde bij het algemeen gemiddeld beschikbare golfvermogen per boei. Het schaalmodel produceert namelijk enkel bij lage golfhoogtes en België vertoont een rustiger golfklimaat. Voor de methode van de vaste piekperiode wordt vastgesteld dat Duitsland

en Nederland beter scoren dan België omdat hier de variërende golfhoogte meer een rol gaat spelen. De golfhoogte wordt namelijk niet meer vastgehouden in de methode van de vaste piekperiode en kan dus variëren. De voorkomingsfrequenties in functie van de variërende golfhoogtes zijn gunstiger dan de voorkomingsfrequenties in functie van de variërende piekperiodes voor Nederland en Duitsland. Dit effect zorgt voor hogere geproduceerde vermogens in Nederland en Duitsland.

	<b>Vaste significante golfhoogte <math>H_s</math></b>	<b>Vaste piekperiode <math>T_p</math></b>
<b>België</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>
Westhinder	10,61	3,91
Wandelaar	11,78	4,67
Trapegeer	10,18	3,94
Oostende	13,39	3,37
Bol van Heist	12,39	3,23
Akkaert	10,06	5,61
<b>Nederland</b>		
ELD	8,99	6,81
EUR	8,69	8,47
K13	8,92	7,33
LEG	8,60	8,01
MPN	9,47	6,72
SCW	8,18	7,18
SON	8,49	6,38
SWB	8,73	7,93
YM6	9,10	7,39
<b>Duitsland</b>		
Fino	8,86	6,25
Helgoland	10,08	6,57
NSBII	7,64	5,40
Westerland	10,43	7,16

**Tabel III-11: Geproduceerde vermogens voor vaste golfhoogte en vaste piekperiode per meetboei voor de Wave Dragon (in kW)**

### III.6 Extreme golfomstandigheden

Uit de power matrix volgt een begrenzing naar zowel minimale als maximale significante golfhoogte  $H_s$ . Een begrenzing naar minimale golfhoogte betekent de nood aan een minimale beschikbare golfenergie zoniet valt het toestel stil en wordt geen stroom aan het grid geleverd. De begrenzing naar maximale golfhoogte toe, heeft betrekking op de overlevingskansen van het toestel tijdens extreme golfomstandigheden. Tabel III-12 biedt een overzicht van de werkingsgrenzen voor de drie toestellen.

Toestel	Min Hs [m]	Max Hs [m]
Pelamis [10]	1	6,5
SSG [11]	0,5	6,5
Wave Dragon [12]	0,22	1,11

**Tabel III-12: Werkingsgrenzen van de Pelamis, de SSG en de Wave Dragon**

De maximale golfhoogte uit de powermatrix van het toestel moet vergeleken worden met een parameter die een extreem golfklimaat kenmerkt. In [39] wordt melding gemaakt van de maximaal significante golfhoogte over een periode van 10 jaar. Een periode van 10 jaar wordt in [39] genomen aangezien golfdata beschikbaar zijn over deze periode. In huidige studie zal worden uitgegaan van de maximaal opgemeten significante golfhoogte bepaald per locatie uit het scatter diagram.

De studie onder extreme omstandigheden is toestelafhankelijk en wordt verder beschreven in Hoofdstuk V.

## III.7 Invloed van de klimaatveranderingen op het golfklimaat

Naar de toekomst toe, zal volgens [43] en [44] rekening gehouden moeten worden met de klimaatveranderingen veroorzaakt tijdens de laatste decennia, waaronder de opwarming van de aarde, ten gevolge van een stijging van de uitstoot aan broeikasgassen. Deze veranderingen zouden een invloed kunnen uitoefenen op hernieuwbare energiebronnen zoals golfenergie. Dergelijke klimaatveranderingen resulteren namelijk in veranderende windpatronen en op hun beurt wijzigende golfklimaten. Tot op heden is echter nog geen sluitend bewijs gevonden voor een strikte relatie tussen stijgende golfhoogten en de opwarming van de aarde.

De wijziging in golfklimaat (meer bepaald: golfhoogte, -periode en -richting) kan zich enerzijds situeren in een toename van de beschikbare golfenergie, anderzijds in een daling van de beschikbare golfenergie. Een daling zou op zijn beurt zijn invloed uitoefenen op de productie en bijgevolg ook de inkomsten (daling). Anderzijds zou een toename een gunstig effect hebben op het beschikbare golfvermogen (stijging). Dit dient echter genuanceerd:

- Een stijging van het golfvermogen kan de overlevingskansen van een golfenergieconvector drastisch beperken.
- De stijging in beschikbare energie zal meestal slechts voor een deel kunnen opgevangen worden, vermits bijvoorbeeld de productie van de Pelamis vanaf een bepaalde golfhoogte, in dit geval 6,5 m, stilvalt.

Verscheidene studies werden reeds uitgevoerd naar de invloed van de stijging van de golfhoogte ten gevolge van de klimaatveranderingen (vooral m.b.t. de Atlantische Oceaan). Voor de Noordzee vond Wang [45] een stijging van de golfhoogte in de winter tot 11 % onder extreme omstandigheden en onder het slechtst denkbare scenario. Hoewel slechts in uiterste omstandigheden, is dit een niet te verwaarlozen toename met betrekking tot de overlevingskansen van het toestel.

In [43] en [44] werd een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd voor een wijzigend windpatroon en diens invloed op de golven voor een Pelamis. Een toename van de windsnelheid met 10 % – hetgeen een realistische aanname bleek – resulteerde in:

- Een toename van 21 % in gemiddelde golfhoogte ( $H_{rms}$ ).
- Een stijging met 60 % van de beschikbare golfenergie.
- Een stijging met 20 % van de productie. De stijging bedraagt hier niet 60 % t.g.v. begrenzing van het toestel in significante golfhoogte  $H_s$ .
- Een daling van de eenheidskosten (pond/kWh, discontovoet 8 %) met 16,5 %

Er kan besloten worden dat een verdere studie naar de invloed van een wijzigend golfklimaat op een golfenergieconverter zich opdringt en niet uit het oog mag verloren worden teneinde optimaal te kunnen profiteren van de stijging in energiewinst t.g.v. het veranderende golfklimaat en de overlevingskansen van de golfenergieconverter niet in het gedrang te brengen.



# Hoofdstuk IV: Beperkingen

De aanleg van een golfenergieconvertorpark vergt eerst en vooral de keuze van een geschikte locatie. Gezien de uitgestrektheid van de Noordzee (Figuur IV-1) enerzijds en haar intens gebruik anderzijds is deze keuze niet evident. Om een conflict met haar gebruikers te vermijden en een overzicht te bewaren tussen alle mogelijke locaties zal de keuze moeten gebeuren op basis van een logisch denkpatroon.

Deze vraagstelling, namelijk de keuze van een geschikte locatie, kan gekaderd worden als een typisch GIS-probleem. Een GIS-probleem wordt opgelost m.b.v. criteria. Een criterium op zijn beurt bestaat uit ofwel beperkingen ofwel factoren eigen aan het specifieke probleem [46]. De verdere bespreking van de factoren zal geschieden in Hoofdstuk IV.

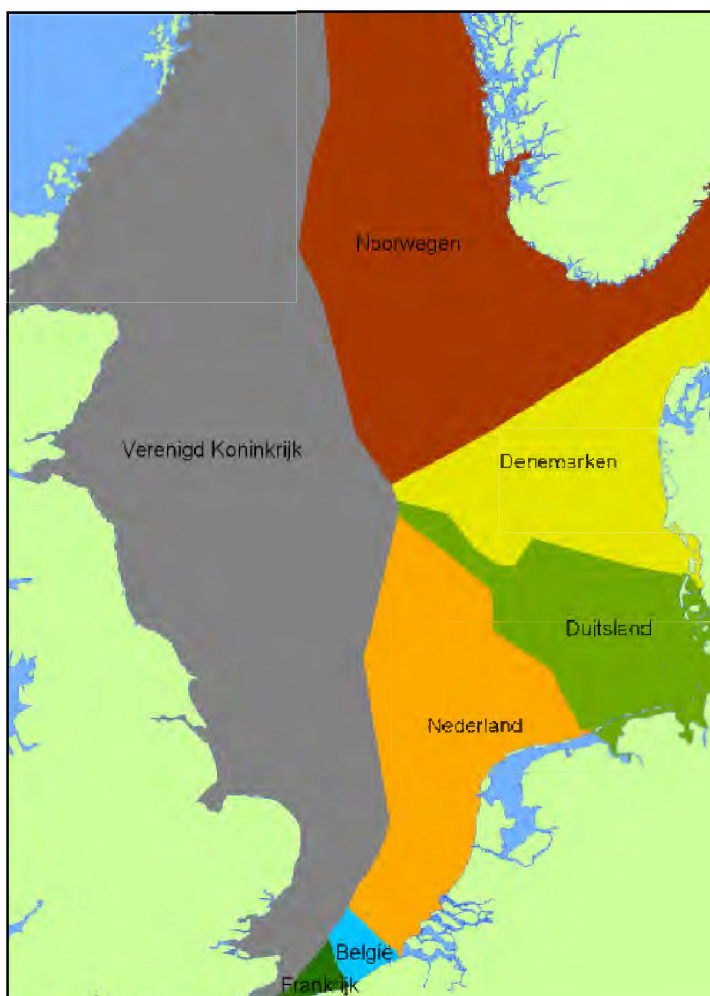
Een beperking houdt in dat een zone exclusief is voorbehouden aan één (of meerdere) gebruikers en niet meer kan aangewend worden als mogelijke locatie voor een golfenergieconvertorpark. De beperkingen zullen m.a.w. een begrenzing van de mogelijke alternatieve locaties met zich meebrengen. Zones die reeds een gebruiksbestemming hebben gekregen die de bouw van een golfenergieconvertorpark niet toelaat, worden aldus onmiddellijk uitgesloten. We onderscheiden volgende gebruiksfuncties in de Noordzee [3] [47]:

- Ramsar- en habitatgebieden
- Scheepvaartroutes
- Baggerzones
- Ankerplaatsen
- Zand- en grindextractiezones
- Schelpwingebieden
- Industriële Afvalsites
- Munitiezones
- Militaire Oefengebieden
- Kabels en Pijpleidingen
- Windmolenparken
- Scheepswrakken
- Platformen
- Ijsvorming
- 12-mijlszone
- Helling

- Invloed van de getijden
- Vergunningen
- Schaduwzones
- Socio-economische beperkingen

## IV.1 Het Continentaal Plat van de Noordzee

De beperkingen en factoren zullen getoetst worden op basis van kaarten langs de kusten van het Continentaal Plat van de Noordzee van de volgende omringende landen: België, Nederland en Duitsland. De totale oppervlakte van het Belgisch Continentaal Plat, afgekort tot BCP, bedraagt ongeveer 3.600 km<sup>2</sup> wat slechts een halve procent is van de gehele Noordzee [48]. Het Nederlands Continentaal Plat (NCP) beslaat een oppervlakte van 57.000 km<sup>2</sup> [37] en het Duits Continentaal Plat (BCP) heeft een oppervlakte van ongeveer 40.000 km<sup>2</sup>. Op Figuur IV-1 zijn de grenzen van de Noordzee en de verdeling van het Continentaal Plat voorgesteld. In dit eindwerk wordt gebruikgemaakt van de voorstellingswijze weergegeven op Figuur IV-2.



Figuur IV-1: Verdeling van het Continentaal Plat van de Noordzee



Figuur IV-2: Voorstellingswijze BCP, NCP en DCP

## IV.2 Ramsar- en habitatgebieden

De Ramsar-conventie is een internationale overeenkomst met betrekking tot watergebieden en woongebieden voor watervogels. De naam is afkomstig van de stad Ramsar in Iran waar deze overeenkomst in 1971 werd ondertekend. Dit verdrag vormt de eerst internationale, multilaterale overeenkomst met betrekking tot milieubescherming. De conventie heeft tot doel: “het behoud en het oordeelkundig gebruik van alle watergebieden door middel van plaatselijke, regionale en nationale acties en internationale samenwerking, als bijdrage tot het tot stand komen van een duurzame ontwikkeling in de gehele wereld” [49] (vrije vertaling van het “Mission Statement” van de Ramsar-conventie). De Engelstalige term voor Ramsar- en habitatgebieden is Ramsar areas & habitats.

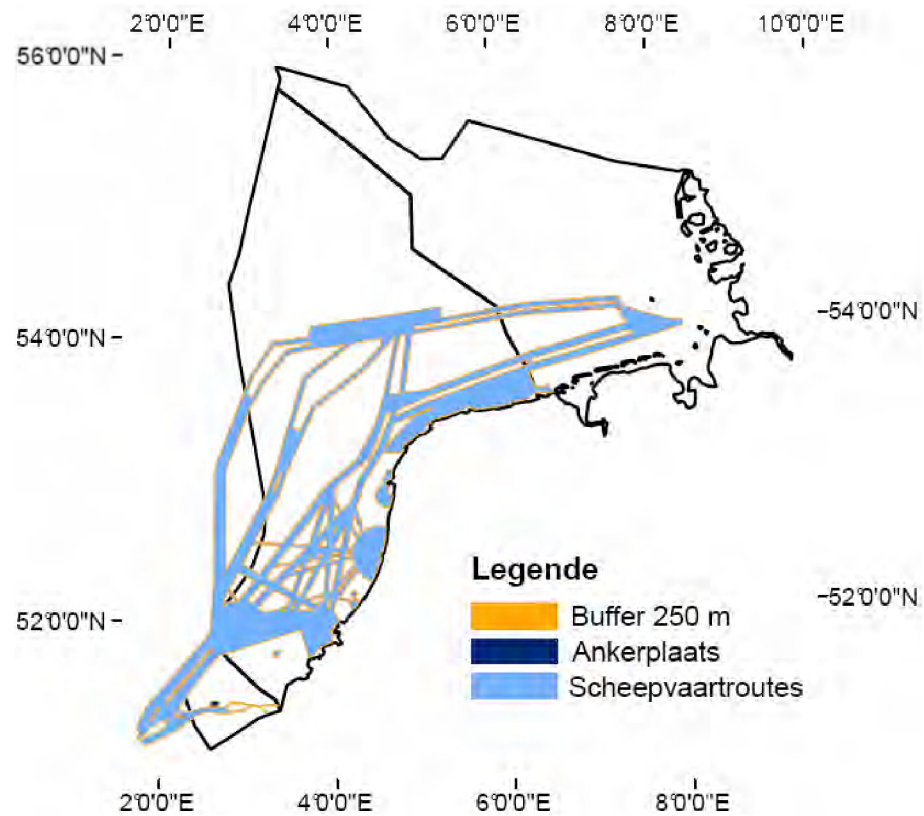
⇒ In Ramsar- en habitatgebieden is de bouw van een park niet toegestaan.

### IV.3 Scheepvaartroutes

West-Europa is een belangrijk economisch centrum waardoor de Noordzee één van de drukst bevaren zeeën ter wereld is [50]. De schepen moeten ten allen tijde kunnen passeren in de voorbehouden scheepvaartroutes (shipping routes) voorgesteld op Figuur IV-3. Deze zones zijn aldus ontoegankelijk voor exploitatie.

Om het risico op aanvaring te verkleinen, wordt een bufferzone van 250 m voorgesteld langs beide zijden van de scheepvaartroute. Deze waarde is arbitrair gekozen en kan na grondige studie van de gevaren rond scheepvaartroutes verhoogd of verlaagd worden.

⇒ Binnen de scheepvaartroutes is de bouw van een park niet toegestaan. Een bufferzone van 250 m wordt toegepast.



Figuur IV-3: Scheepvaartroutes en ankerplaatsen met buffer op het BCP, NCP en DCP

### IV.4 Baggerzones

Baggerzones (dredging zones) zijn gelegen in de omgeving van havens en worden uitgebaggerd met als doel de toegang tot de havens geschikt te maken voor scheepvaart. Deze zones zijn sterk gerelateerd aan scheepvaartroutes en vallen dan ook dikwijls samen. Na het bestuderen van de

verschillende baggerzones en scheepvaartroutes, wordt aangenomen dat de baggerzones in de beschouwde zone (BCP, NCP en DCP) samenvallen met de scheepvaartroutes. Net als bij de scheepvaartroutes (§IV.3) wordt een bufferzone van 250 m in rekening gebracht.

⇒ In de baggerzones is het niet toegelaten om een park aan te leggen. Een bufferzone van 250 m wordt toegepast.

### **IV.5 Ankerplaatsen**

Tussen de verschillende vaargeulen zijn zones voorbehouden als ankerplaats (anchorage area). Deze gebieden vallen in dezelfde categorie als de scheepvaartroutes en baggerzones. Bijgevolg zijn ze verboden terrein voor exploitatie en wordt een bufferzone van 250 m in rekening gebracht. Op Figuur IV-3 is te zien dat enkel in België een ankerplaats is vastgelegd.

⇒ Binnen ankerplaatsen is het niet toegelaten om een park aan te leggen. Een bufferzone van 250 m wordt toegepast.

### **IV.6 Zand- en grindextractiezones**

Extractiegebieden (extraction zones) (Figuur IV-4) voor zand en grind zijn in eerste instantie niet toegankelijk voor exploitatie. In België is een verplaatsing van deze gebieden naar een andere locatie echter steeds mogelijk. Dit gebeurt op basis van een concessie van de federale minister van economische zaken. Indien een soortgelijke regeling geldt in Nederland en Duitsland, kan onderzocht worden of deze extractiegebieden interessant zijn voor de aanleg van een golfenergieconvertorpark. Wanneer deze situatie zich voordoet, kan overwogen worden een aanvraag tot verplaatsing van de extractiezone in te dienen. Het gebruik van ArcGIS (Hoofdstuk VII) maakt het eenvoudig om gebieden te verplaatsen of het al dan niet toestaan van de bouw van een park in een extractiezone te onderzoeken. Omdat het verplaatsen van extractiegebieden veel tijd en werk kost om de nodige vergunningen te bekomen waardoor de installatie van een park wordt uitgesteld, wordt in dit eindwerk aangenomen dat de bouw van een golfenergieconvertorpark niet is toegestaan in zand- en grindextractiezones.

⇒ Zand- en grindextractiezones vormen niet-toelaatbare gebieden om een park aan te leggen.

### **IV.7 Schelpwingebieden**

Voornamelijk langs de Nederlandse kust, in de Waddenzee, in de buitendelta's en zeegaten van de Waddenzee en in de Voordelta wordt aan schelpwinning (Figuur IV-4) gedaan [50]. Deze

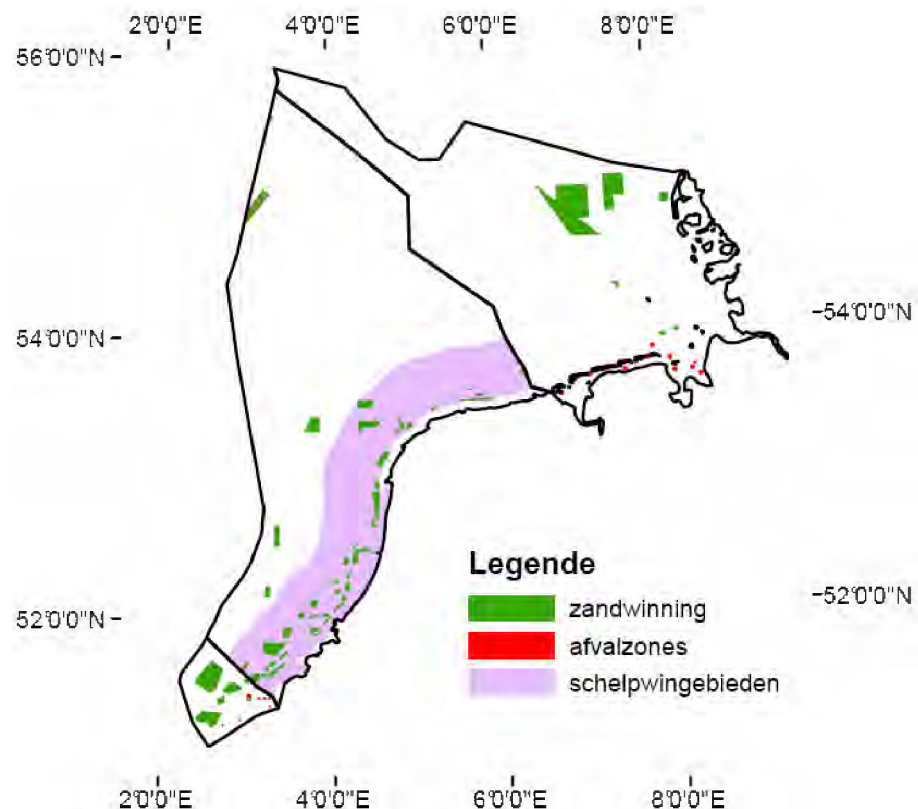
zones hebben hetzelfde statuut als de zand- en grindextractiezones. De bouw van een park is niet toegelaten tenzij de noodzakelijke vergunningen verkregen worden. Er wordt echter, net als bij de zand- en grindextractiezones, aangenomen dat de exploitatie niet toegestaan is.

⇒ Binnen schelpwingebieden is het niet toegelaten om een park aan te leggen.

## IV.8 Industriële afvalsites

De industriële afvalsites (Figuur IV-4), in het Engels dumping zones genoemd, zijn gedateerd. In deze gebieden treedt enkel nog een diffuse vervuiling op zodat een golfenergieconverteerparke geïnstalleerd kan worden. In eerste instantie worden deze zones toch buiten beschouwing gelaten aangezien het niet volledig duidelijk is wat de eventuele nadelen zijn bij een exploitatie. Indien na onderzoek blijkt dat deze zones probleemloos aangewend kunnen worden voor de installatie van een park, kan deze beperking verwijderd worden uit het model van de beperkingen (§VII.3.1).

⇒ Indien nodig kunnen de industriële afvalsites aangewend worden voor de bouw van een park.



Figuur IV-4: Zand- en schelpwingebieden en afvalzones op het BCP, NCP en DCP

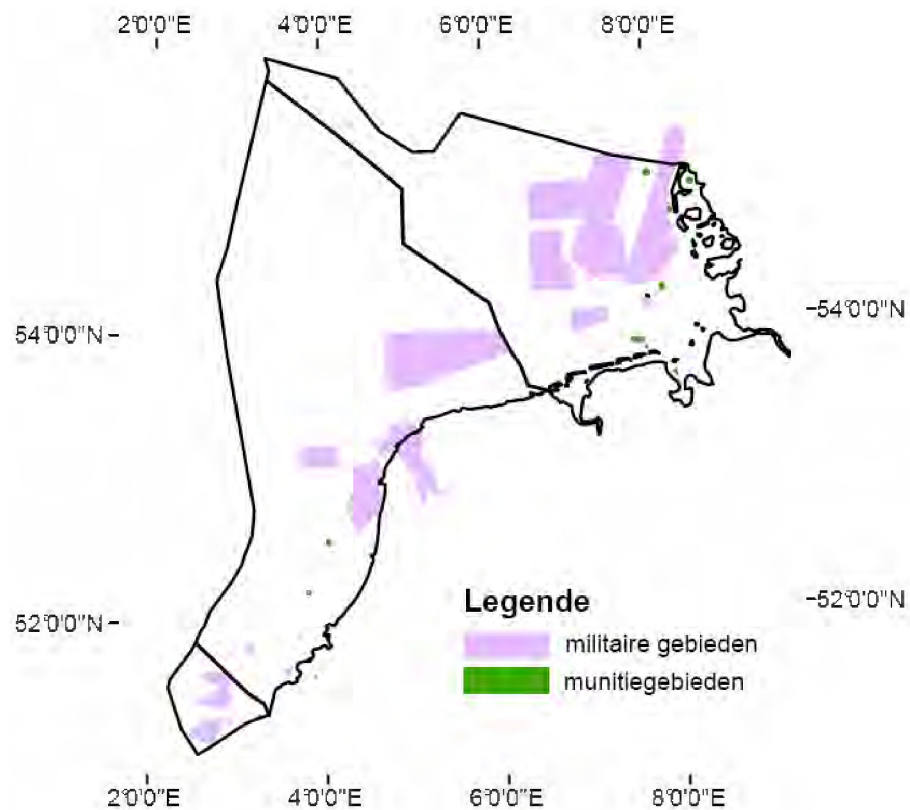
## IV.9 Munitiezones

Aangezien oorlogsmunitie steeds risico's met zich meebrengt, zijn munitiezones (ammunition areas) (Figuur IV-5) verboden terrein. Daarenboven wordt een bufferzone van 500 m aangenomen. Dit voornamelijk omdat de beschadiging van een golfenergieconverteur door het ontploffen van oorlogsmunitie een onaanvaardbaar risico is dat niet opweegt tegen het verkleinen van het toelaatbare gebied.

⇒ Munitiezones zijn verboden gebieden wat betreft de exploitatie van een park. Een bufferzone van 500 m rondom deze gebieden wordt toegepast.

## IV.10 Militaire oefengebieden

De militaire oefengebieden (military zones) (Figuur IV-5) worden op regelmatige basis gebruikt voor schietoefeningen, vlieg oefeningen en oefeningen met mijnen [50]. Het risico op beschadiging dat gepaard gaat bij de exploitatie van een golfenergieconverteurpark binnen deze zones is veel te groot zodat het gebruik van deze zones verboden is. Net als bij de munitiezones (§IV.9) wordt een bufferzone van 500 m in rekening gebracht.



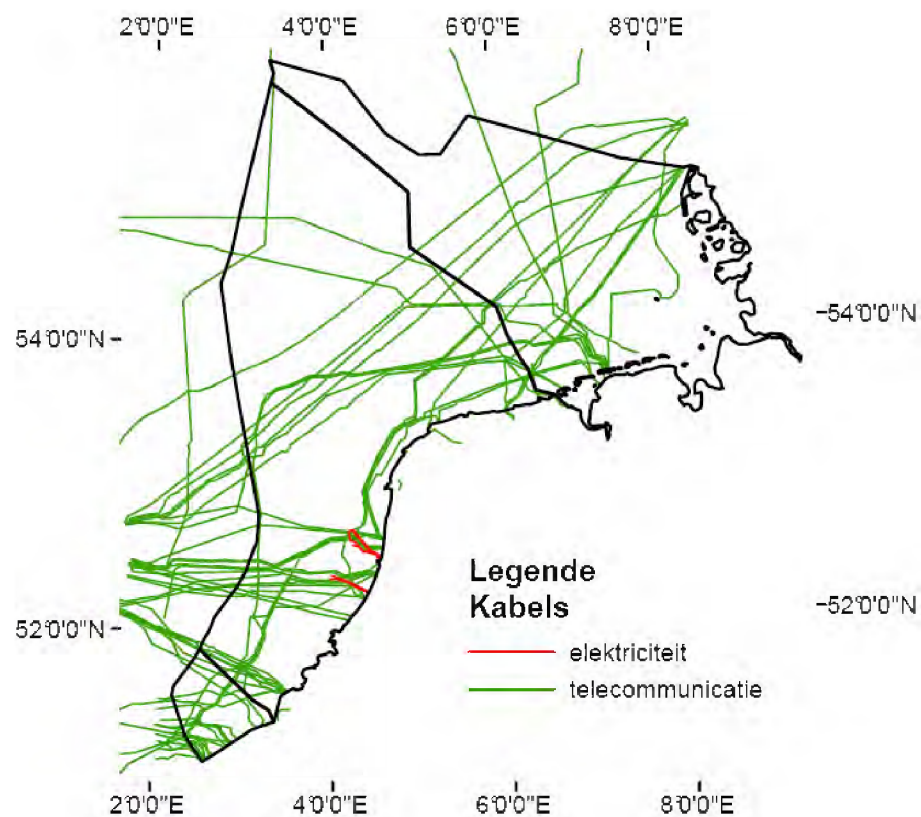
**Figuur IV-5: Militaire en munitiegebieden op het BCP, NCP en DCP**

Het gebruik van de militaire oefengebieden bij de bouw van een park is wel toegestaan op momenten dat er geen oefeningen plaatsvinden [50]. Het verslepen van de toestellen wordt dus niet gehinderd door het bestaan van militaire oefengebieden.

⇒ De militaire oefengebieden zijn verboden voor de exploitatie van een park. Aangezien deze zones gevaar inhouden, wordt een bufferzone van 500 m in rekening gebracht.

## IV.11 Kabels en pijpleidingen

Bij het aanleggen van de elektriciteitskabel die het golfenergieconvertoorpark verbindt met het grid, dient het kruisen van kabels (cables), voornamelijk voor telecommunicatie (Figuur IV-6), en pijpleidingen (pipelines), voornamelijk voor gas en olie, vermeden te worden. De reden hiervoor is tweeledig. Ten eerste is de kruising veel ingewikkelder dan het leggen van kabels in vrije ondergrond. Het is immers noodzakelijk om de nieuwe kabel af te schermen van de bestaande leidingen (§VIII.2.2). Ten tweede brengt het kruisen van kabels en pijpleidingen een extra kost met zich mee. Aldus dient er beslist te worden of de extra aanlegkost in rekening wordt gebracht of het kruisen van kabels geheel vermeden wordt. Indien een extra aanlegkost genomen wordt, zal deze beperking vervangen worden door een factor waarbij het kruisen van kabels of pijpleidingen een lagere score oplevert (Hoofdstuk V).



Figuur IV-6: Kabels in de Noordzee



Volgens [50] geldt er een onderhoudszone van 500 m rondom kabels en pijpleidingen. In [51] wordt een bufferzone van 500 m rond onderzeese kabels in rekening gebracht en wordt bovendien vermeld dat nieuwe kabels onder een hoek van 90° dienen te kruisen met bestaande kabels.

Daar geen prijzen gekend zijn voor het kruisen van kabels en het implementeren van het aantal kruisingen in ArcGIS moeilijkheden met zich meebrengt, wordt deze beperking niet omgezet in een factor. Het is immers niet mogelijk om het aantal vereiste kruisingen per gebied door ArcGIS te laten bepalen waardoor dit handmatig moet gebeuren. Rekening houdend met het aantal kabels in de Noordzee is dit een zeer tijdrovende bezigheid die niet opweegt tegen de verkregen informatie. Indien een bufferzone van 500 m in rekening gebracht wordt, zal het niet toegestaan zijn om een park te plaatsen boven een kabel of pijpleiding wat een te strenge eis lijkt daar de toestellen drijven. Er wordt gekozen om de kabels en pijpleidingen in eerste instantie niet als beperking of factor te beschouwen. Na de keuze van de meest geschikte locatie zal dan onderzocht moeten worden of het leggen van de kabels en het aanbrengen van de verankering van het toestel mogelijk is zonder beschadiging van de bestaande leidingen.

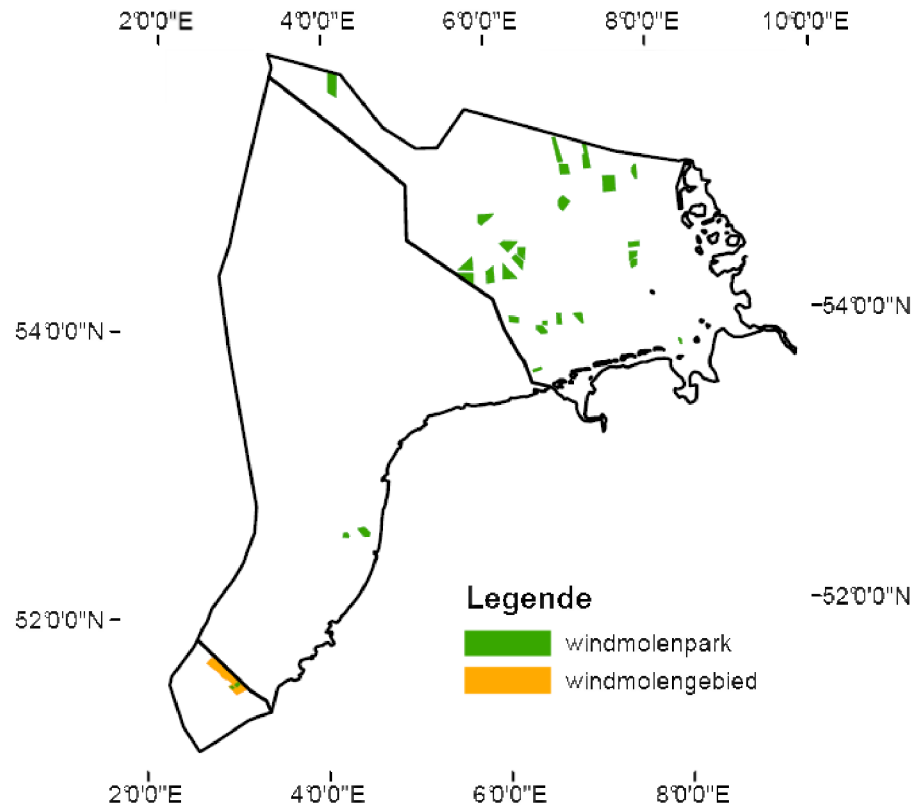
⇒ De aanwezigheid van een golfconvectorpark is toegelaten boven kabels en pijpleidingen mits afweging van de extra aanlegkost.

### **IV.12 Windmolenparken**

Een windmolenpark kan zowel een positieve als negatieve invloed hebben op een golfenergieconvectorpark. Enerzijds kan gesteld worden dat indien de aanwezige kabels voldoende capaciteit hebben, ze meteen kunnen gebruikt worden voor de aansluiting van het golfenergieconvectorpark. Dit reduceert de kost voor de aanleg van de kabels. Anderzijds is het mogelijk dat de fundering van de windmolens of de aanwezigheid van de windmolen zelf de golven verstoort waardoor er meer of minder energie kan opgewekt worden. De invloed van de windmolens op de golfhoogte en de golfperiode zal bijgevolg onderzocht moeten worden vooraleer besloten kan worden of de aanwezigheid van een windmolenpark een nadelige werking heeft en aldus vermeden moet worden.

Een overzicht van bestaande en toekomstige windmolenparken en van gebieden gereserveerd voor windmolens (windmolengebied) is weergegeven op Figuur IV-7. De nadelige invloed is voorlopig niet aangetoond zodat aangenomen wordt dat de exploitatie van een golfenergieconvectorpark is toegestaan in de buurt van een windmolenpark.

⇒ Het bouwen van een park in de buurt van een windmolenpark is toegelaten.



**Figuur IV-7: Overzicht van de windmolenparken op het BCP, NCP en DCP**

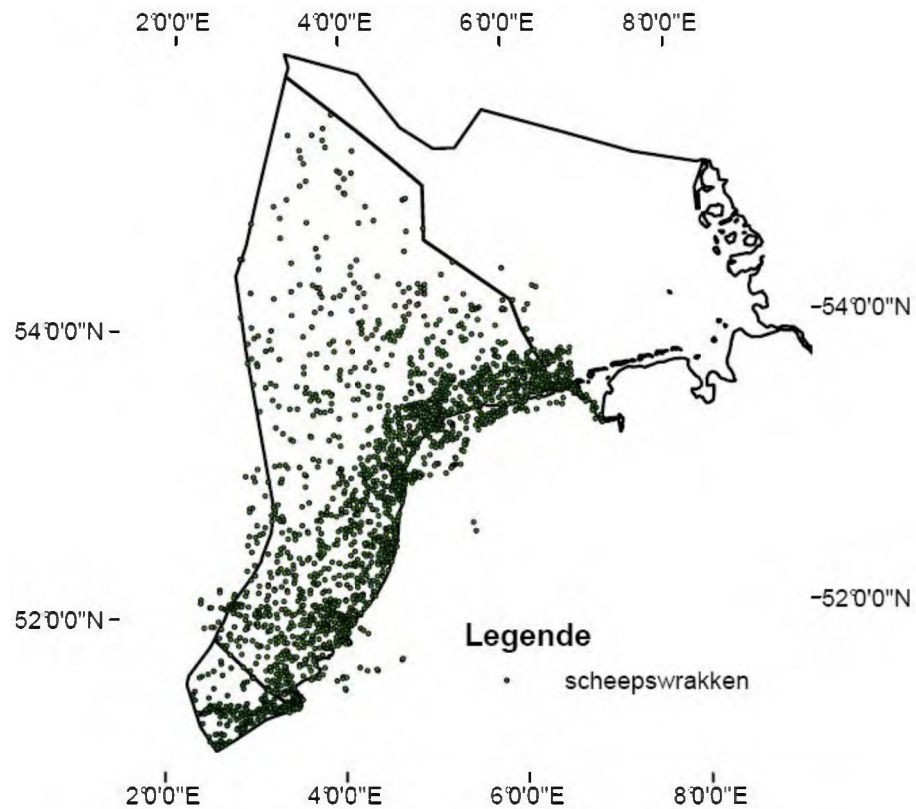
### IV.13 Scheepswrakken

De zones rond scheepswrakken kunnen best vermeden worden gezien de problemen bij het baggeren van de sleuf voor de kabel. Er kunnen zich tevens problemen voordoen bij de verankering in de aanwezigheid van een scheepswrak. Het is echter niet verboden om deze zones te gebruiken. In [51] wordt een bufferzone van 500 m vastgelegd rond beschermde scheepswrakken en 100 m rondom onbeschermde.

Zoals op Figuur IV-8 te zien is, ligt de hele kustzone van België en Nederland vol scheepswrakken en is het bijna onmogelijk om deze allemaal te vermijden, vooral indien een bufferzone van 100 of 500 m gebruikt wordt. Over de ligging van de scheepswrakken op het Duits Continentaal Plat zijn geen gegevens beschikbaar maar vermoedelijk is de situatie gelijkaardig aan België en Nederland.

Tijdens de zoektocht naar een geschikte locatie wordt geen rekening gehouden met de ligging van de scheepswrakken. Nadat de meest geschikte locatie gekozen is, dient onderzocht te worden of de aanwezigheid van scheepswrakken al of niet problematisch is. Onder problematisch wordt de hoeveelheid scheepswrakken en de afstand tussen de aanwezige wrakken verstaan.

⇒ Scheepswrakken zijn te vermijden maar niet verboden.



Figuur IV-8: Scheepswrakken op het BCP en NCP

## IV.14 Platformen

Omtrent de nabijheid van platformen bij een golfenergieconverteerpark is weinig gekend. Aangenomen kan worden dat er een minimale afstand gehanteerd moet worden om beschadiging van het toestel te voorkomen. De Pelamis en de Wave Dragon zijn immers in staat te draaien daar de toestellen zich richten naar de golven (§II.2 en §II.4). De lengte van de Pelamis bedraagt 150 m zodat veiligheidshalve een bufferzone van 250 m in rekening gebracht wordt. Het schaalmodel van de Wave Dragon heeft als maximale afmeting 57 m zodat een bufferzone van 250 m ook hier zal volstaan.

Net als bij de windmolenparken, is het mogelijk dat de aanwezigheid van een platform een invloed heeft op de golfhoogte en de golfperiode. Ook dit zal nader onderzocht moeten worden vooraleer een besluit kan getrokken worden.

⇒ Een bufferzone van 250 m rond een platform wordt toegepast, buiten deze zone is de exploitatie van een park toegestaan.

## IV.15 Ijsvorming

Om de goede werking van het park te kunnen garanderen en de rendabiliteit zo hoog mogelijk te houden, dient nagegaan of er in de Noordzee ijsvorming optreedt. De plaatsen waar ijsvorming voorkomt, zullen uitgesloten worden aangezien de werking van de toestellen zal gehinderd worden door de aanwezigheid van het ijs en de productie bijgevolg daalt.

Zeewater, afhankelijk van de exacte samenstelling, bevriest gemiddeld bij  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (voor een zoutgehalte  $S = 35\text{ }‰$ ). De temperatuur van de Noordzee in de zomer bedraagt gemiddeld  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  en tijdens de winter  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [40].

Tal van factoren beïnvloeden de vorming van zee-ijs [52][53]:

- Temperatuur van de lucht en het water
- Zoutgehalte
- Waterdiepte
- Stroomsnelheid
- Windsnelheid

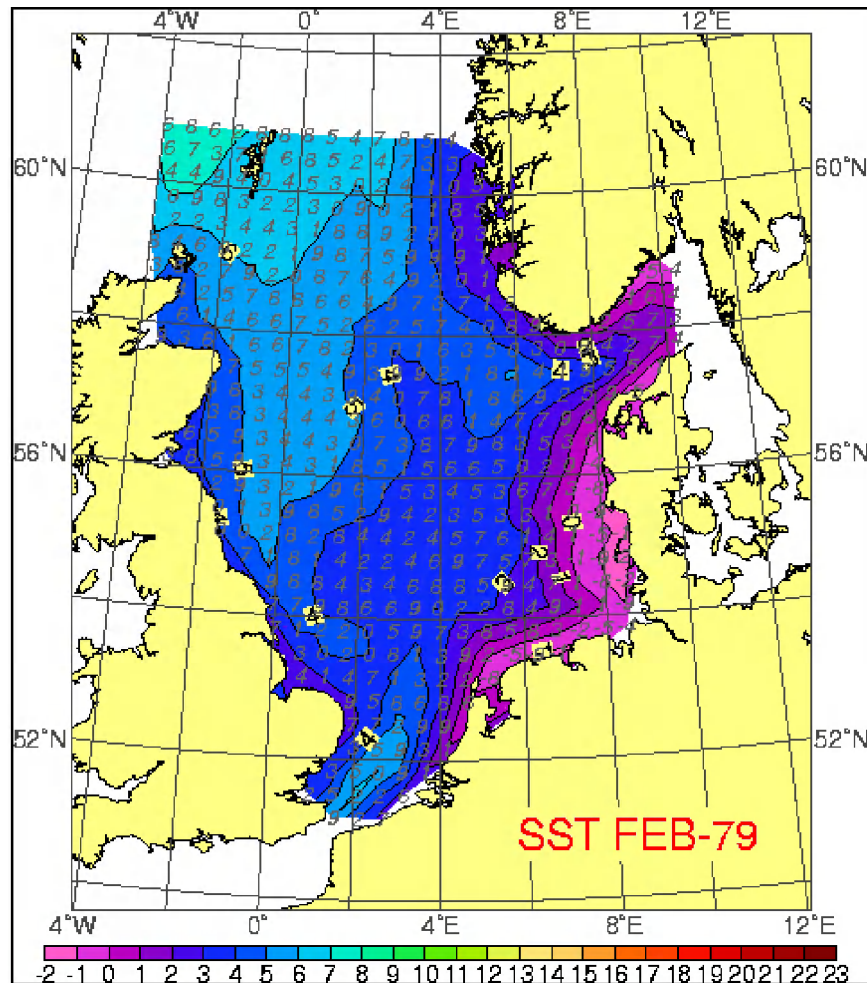
De belangrijkste factor bij de vorming van ijs is de temperatuur. Enkel indien de temperatuur laag genoeg is, zal zee-ijs gevormd kunnen worden. De waarde van de bevriestemperatuur is afhankelijk van het zoutgehalte, nl. hoe hoger het zoutgehalte, hoe lager de bevriestemperatuur ligt. Indien op een bepaald moment de bevriestemperatuur bereikt is maar nog geen ijs is gevormd, speelt de waterdiepte de belangrijkste rol. Hoe ondieper een zone des te vlugger deze kan bevriezen. Verder heeft ook de stroomsnelheid van het water een invloed. Water met een hoge stroomsnelheid zal minder snel bevriezen dan water met een lage stroomsnelheid. Tot slot mag ook de invloed van de wind niet verwaarloosd worden. Bij een windkracht 4 of meer zullen de golven op zee er voor zorgen dat de bovenste lagen in beweging blijven en ijsvorming zich minder gemakkelijk kan voordoen.

Tijdens de wintermaanden treden in de noordelijke Noordzee gemiddelde maandtemperaturen op die gelegen zijn rond het nulpunt. De Noorse kust behoudt temperaturen boven  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De temperaturen langs de Duitse, Deense en het Noordelijke deel van de Nederlandse kust kunnen soms lichtjes zakken onder het vriespunt. Op de website van BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) staat een database [54] die gegevens bevat m.b.t. de oppervlaktetemperaturen van het zeewater in de Noordzee vanaf september 1968 tot het heden.

Op Figuur IV-9 [54] zijn de gemiddelde maandtemperaturen weergegeven in de Noordzee gedurende februari 1979. Dit is de maand met de laagste gemiddelde temperaturen tijdens de periode september 1968 – april 2008. Langs de Deense kust is er een zone waar de temperatuur daalt tot  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Op het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat blijft de temperatuur steeds boven  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Gedurende verschillende jaren echter daalt de temperatuur zelfs niet onder

0 °C en zal er dus geen ijsvorming optreden. Er wordt dan ook aangenomen dat geen ijsvorming te vreezen is.

⇒ Er worden geen zones uitgesloten omwille van ijsvorming.



Figuur IV-9: Isothermen in de Noordzee tijdens februari 1979, BSH [54]

## IV.16 12-mijlszone

De gebieden binnen de 12-mijlszone worden territoriale wateren genoemd en vallen onder de wetgeving van het betreffende land. De bouw van een golfenergieconvertorpark is zonder de nodige vergunningen niet toegestaan binnen deze zone. Verder wordt deze zone in vele studies uitgesloten van de toelaatbare gebieden [55], [56]. Aldus wordt aangenomen dat deze gebieden verboden terrein zijn. Er zal echter ook onderzocht worden welke gebieden binnen de 12-mijlszone geschikt zijn voor de bouw van een golfenergieconvertorpark.

⇒ De bouw van een park binnen de 12-mijlszone is niet toegestaan.

## IV.17 Helling

Bij het aan land brengen van de kabel, de aanlanding m.a.w., zal de helling van de kust mogelijk een invloed uitoefenen. Te steile of te zwakke hellingen kunnen bijvoorbeeld moeilijkheden veroorzaken bij het leggen van de kabel. Uit de literatuur wordt geen informatie gevonden m.b.t. de meeste geschikte hellingsgraad. Daarenboven zijn de data m.b.t. de beschikbare bathymetrie gegeven in intervallen van 10 m. Voor de bepaling van de helling langsheen de kust, zijn deze gegevens te onnauwkeurig. Het is bijgevolg niet mogelijk bepaalde zones uit te sluiten als aanlandingspunt voor de elektriciteitskabel.

⇒ Alle gebieden en hellingen zijn toegelaten.

## IV.18 Invloed van de getijden

Indien het getijde sterk varieert en de diepte beperkt is, kan dit leiden tot een extra beperking. Gezien de data m.b.t. de diepte onvoldoende nauwkeurig zijn om hieruit een besluit nemen, is deze beperking achterwege gelaten.

⇒ Alle gebieden zijn toegelaten.

## IV.19 Vergunningen

Voor het gebruik van gebieden in zee moeten verschillende vergunningen toegekend worden. Zo dient er bijvoorbeeld een vergunning te zijn voor de aanleg van de kabels, voornamelijk in binnen de 12-mijlszone en een vergunning voor de aanlanding [56]. Niet alle zones zullen deze vergunningen krijgen zodat deze op voorhand kunnen uitgesloten worden. Het is ook mogelijk dat er een groot tijdsverschil zit op het verkrijgen van de verschillende vergunningen. In sommige landen zullen de procedures meer gestandaardiseerd zijn en sneller in orde gebracht worden dan in andere landen. Indien de duurtijden voor het verkrijgen van de nodige vergunningen gekend zijn, kan deze beperking omgezet worden in een factor. Hoe korter de wachttijd, hoe hoger de score (Hoofdstuk V). Ook Nobre A. vermeldt dat er rekening moet gehouden worden met de administratieve en logistieke voorwaarden [57]. Het is echter niet bekend welke gebieden/landen onder deze voorwaarde vallen zodat het uitsluiten van gebieden niet mogelijk is.

⇒ Alle gebieden zijn toegelaten.

## IV.20 Schaduwzones

Sommige gebieden zijn minder geschikt voor exploitatie door de combinatie kustoriëntatie en dominante golfrichting [57]. Er ontstaan aldus schaduwzones waar het golfvermogen zo laag is dat deze gebieden meteen uitgesloten moeten worden. Voor deze studie zijn de schaduwzones op het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat belangrijk, de liggingen ervan zijn echter niet bekend gedurende deze studie.

⇒ Alle gebieden zijn toegelaten.

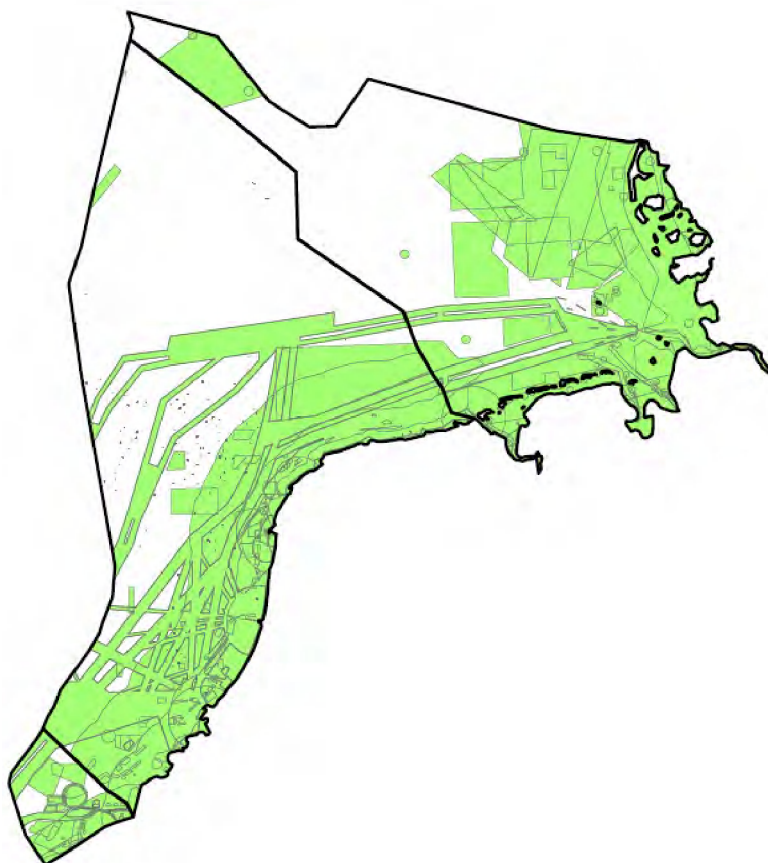
## IV.21 Socio-economische beperkingen

Als laatste moet er ook rekening gehouden worden met de impact van een park op verschillende gebruiksgroepen. Zo treedt er mogelijk visuele hinder [58] en geluidshinder [59] op, daarenboven moet de veiligheid ten allen tijde gegarandeerd zijn. Visuele hinder bij golfenergieconvertoren treedt op bij een afstand, van het park tot de kust, kleiner dan 5 km [58]. Bij windmolenparken treedt er tot op maximaal 1 km afstand geluidshinder op [60], bij golfenergieconvertorparken zal deze afstand (i.e. 1 km) niet groter zijn zodat er geen geluidshinder te vrezen is tot op de kust.

Daarnaast moet er ook gelet worden op de aanwezigheid van recreatiezones en watersportgebieden zoals o.a. surfgebieden. Zo wordt in [59] vermeld dat ter hoogte van het onderzeese connectiepunt Wave Hub, het golfklimaat beïnvloed wordt en dat bij de Wave Dragon een reductie van de golfhoogte optreedt. Over de grootte van deze reductie bestaat nog onenigheid, hoewel verschillende studies werden uitgevoerd. De Halcrow studie suggereert dat er een maximale reductie van 13 % zal optreden voor een golf van 1,6 m [59]. Een tweede studie, uitgevoerd door Millar *et al.*, vermeldt een reductie van maximaal 6,7 % [59]. Tot slot wordt er vermeld dat er nood is aan een grondigere studie.

## IV.22 Samenvatting

Rekening houdend met de besproken beperkingen, wordt een kaart verkregen zoals voorgesteld op Figuur IV-10. Deze zones zijn m.a.w. niet toegelaten voor de exploitatie van een golfenergieconvertorpark.



**Figuur IV-10: De beperkingen op BCP, NCP en DCP**



# Hoofdstuk V: Scores

De uiteindelijke doelstelling is het bepalen van gebieden welke het meest geschikt zijn om een golfenergieconvertoorpark te plaatsen. Na het uitsluiten van locaties d.m.v. de verscheidene beperkingen (Hoofdstuk IV), kunnen de resterende gebieden onderling met elkaar vergeleken worden. De potentiële golfenergiewinningsgebieden worden daarom nader onderzocht d.m.v. factoren.

## V.1 Factoren

Elk gebied wordt gekenmerkt door alle hieronder opgesomde factoren maar zal hierin anders scoren. Volgende factoren worden in rekening gebracht:

- Beschikbaar golfvermogen / geproduceerd vermogen
- Afstand tot de kust
- Afstand tot de gridconnectie
- Afstand tot de haven
- Diepte
- Bodemgesteldheid
- Extreme omstandigheden
- Richtingsafhankelijkheid
- Maandelijkse variatie van het golfvermogen

Bovenstaande factoren zijn de belangrijkste parameters bij de keuze van een ideale plaats voor het golfenergieconvertoorpark. In wat volgt, wordt de indeling van de factoren per toestel afzonderlijk bekeken gezien de toestelafhankelijkheid van elk van de vermelde factoren. Het is mogelijk nog andere factoren in rekening te nemen, zoals bijvoorbeeld het kruisen van kabels, de variatie van het getij en de wachttijd voor het verkrijgen van vergunningen. In Hoofdstuk IV werd vermeld hoe deze beperkingen ook als factoren kunnen opgevat worden. De invloed van extra factoren zal echter relatief klein zijn gezien hun ondergeschikt belang, zodat de verwaarlozing ervan slechts een beperkte invloed heeft op het uiteindelijke resultaat.

Om een onderscheid tussen verschillende locaties te kunnen maken, zal binnen iedere factor een range van waarden tussen 0 en 100 toegekend worden, in wat volgt omschreven als scores  $c_i$ . De range tussen 0 en 100 is verplicht ter standaardisatie van alle waarden. De scores zijn richtwaarden en indien mogelijk rechtstreeks of onrechtstreeks gebaseerd op de kostprijs. De scores bieden een goede indicatie, maar zijn daarom niet absoluut en soms erg afhankelijk van de gebieden die besproken worden.

De methode voor de toekenning van de waarden tussen 0 en 100 berust op de theorie geïntroduceerd door Zadeh (1965, theory of fuzzy sets) en beschreven in [46]. Op deze manier wordt getracht aan elke locatie geen strikte booleaanse waarde van 0 of 1 (hier 0 of 100) toe te kennen maar wordt een zekere gradatie toegelaten. Mathematisch wordt dit als volgt uitgedrukt:

$$\begin{cases} c_i^k(z) = 0 & \text{Voor } z < b_1 & (a) \\ c_i^k(z) = \frac{z - b_1}{b_2} & \text{Voor } b_1 \leq z \leq b_1 + b_2 & (b) \\ c_i^k(z) = 1 & \text{Voor } z > b_1 + b_2 & (c) \end{cases} \quad (V-1)$$

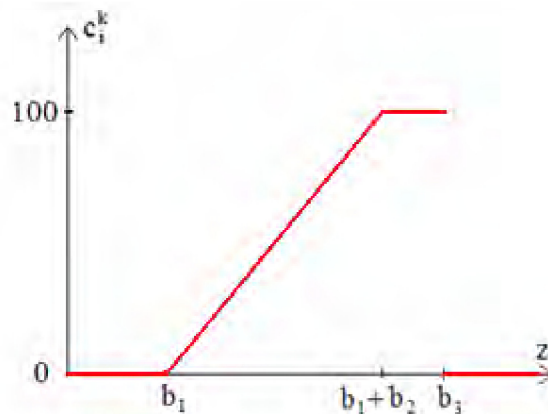
Waarbij:

- Voorwaarde (a): dit zijn de beperkingen beschreven onder Hoofdstuk IV
- $c_i^k$  = de score voor de factor i van de k<sup>de</sup> locatie
- $b_1$  en  $b_2$  = grenzen in functie van de factor

In wat volgt wordt soms een extra voorwaarde toegekend aan formule (V-1), namelijk:

$$c_i^k(z) = 0 \quad \text{Voor } z > b_3 \quad (V-2)$$

Waarbij  $b_3$  de uiterste grens van de beschouwde factor voorstelt. De functie voorgesteld door vergelijking (V-1) vertoont een lineair verloop (Figuur V-1). De functie is in dit geval als een stijgende rechte voorgesteld, maar kan evenzeer van dalende aard zijn.



**Figuur V-1: Grafische voorstelling van vergelijking (V-1)**

De grenzen tussen 0 en 100 zijn niet strikt bindend. In [61] worden als grenzen 0 en 255 voorgesteld i.p.v. 0 en 100 gezien de overeenstemming met de grenzen voor RGB-waarden.

De buffers die in ArcGIS worden ingevoerd zullen beperkt worden ter reductie van de rekentijd. Met uitzondering van de factoren voor de diepte en de bodemgesteldheid, zal het lineaire verloop steeds behouden worden. Het lineaire verloop is gerechtvaardigd gezien haar eenvoud,

de beperkte beschikbare informatie met betrekking tot de scores en tot de grafieken van scoreverlopen, het veelal lineaire karakter tussen kostprijs en een score en de beperking van invoer van complexe formules in ArcGIS voor shapefiles (§VII.3.2.5).

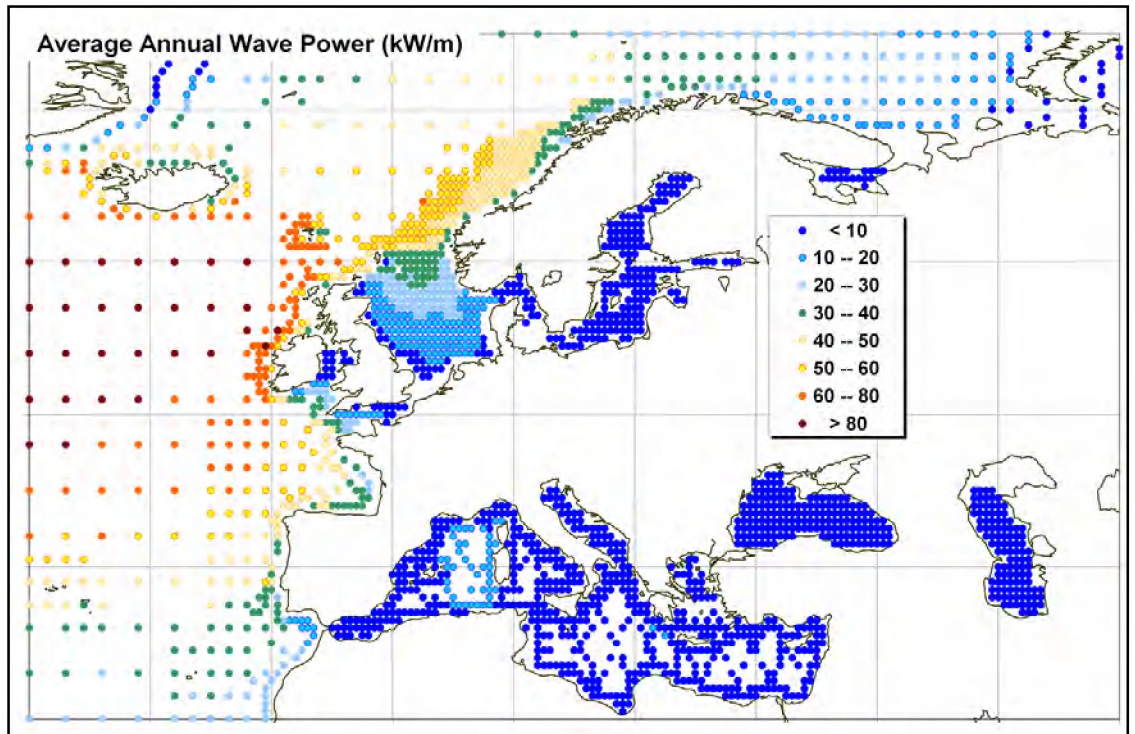
- Op basis van beschikbare data van scores voor de bodemgesteldheid (§V.2.6) wordt een discrete verdeling voor de bodem in rekening gebracht [57].
- Een ideale diepte voor de Pelamis bedraagt 50 m (§II.2). Een diepte die groter is, scoort even sterk als de ideale diepte, aan de dieptes lager dan 50 m wordt een score kleiner dan 100 toegekend. De kromme waarvan wordt gebruikgemaakt in dit geval is een derdegraadskromme.
- Voor de SSG wordt gewerkt met een referentiediepte van 6,5 m (V.3.3). Aan elke diepte groter of kleiner dan deze referentiediepte wordt een kleinere score toegekend. Er wordt dan een tweedegraadspaarabool in aanmerking genomen.
- Voor de Wave Dragon zal met betrekking tot de factor diepte wel uitgegaan worden van een lineair verband.

## V.2 Pelamis

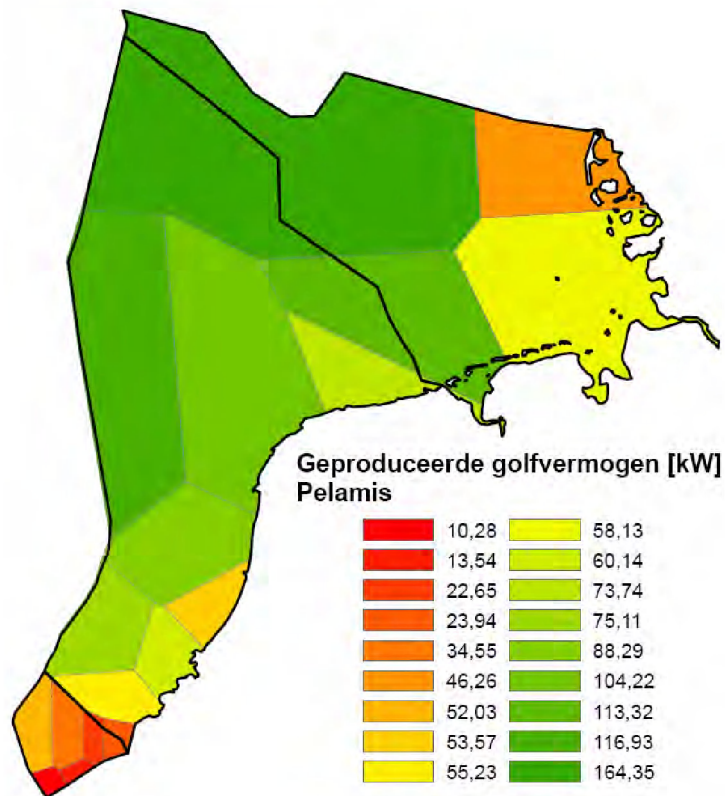
Voor de bepaling van de optimale locatie van de Pelamis worden alle mogelijke gebieden van de Noordzee met uitzondering van de beperkingen in rekening gebracht in tegenstelling tot de SSG en Wave Dragon. De bepaling van de scores toegekend aan de mogelijke gebieden wordt hieronder besproken.

### ***V.2.1 Beschikbaar golfvermogen en geproduceerde vermogen***

Het beschikbare golfvermogen is één van de belangrijkste factoren die in aanmerking worden genomen. Het is immers de bedoeling zo veel mogelijk golfenergie te converteren. Figuur V-2 geeft een overzicht van het beschikbare golfvermogen in Europa. De kaart is gebaseerd op data van het ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) WAM model archief en worden gekalibreerd en gecorrigeerd (door OCEANOR) met een globale boei en Topex satelliet hoogtemeter databank. In de Zuidelijke Noordzee is het beschikbare gemiddelde jaarlijkse golfvermogen beperkt tot ongeveer 20 kW/m, terwijl in de Noordelijke Noordzee waarden bereikt worden tot 40 kW/m. Dit verschil is te verklaren door de geringere afscherming die het noordelijke gedeelte ondervindt van de invloed van de Atlantische Oceaan in vergelijking met de Zuidelijke Noordzee. Hoe groter het beschikbare golfvermogen, hoe meer energie kan opgewekt worden en hoe meer opbrengsten verkregen kunnen worden.



Figuur V-2: Beschikbare gemiddelde jaarlijkse golfvermogen [kW/m] in Europa. De kaart is gebaseerd op data van het ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) WAM model archief en worden gekalibreerd en gecorrigeerd (door OCEANOR) met een globale boei en Topex satelliet hoogtemeter databank.



Figuur V-3: Het geproduceerde golfvermogen [kW] voor de Pelamis op het BCP, NCP en DCP

Evenzeer zijn data van golfmeetboeien beschikbaar m.b.t. het gemiddeld beschikbaar golfvermogen (§III.1). De waarden van de meetboeien stemmen overeen met de grenzen weergegeven in Figuur V-2. In wat volgt zal voor de factor golfvermogen niet het beschikbare golfvermogen maar het effectief geproduceerde vermogen door de Pelamis in rekening worden gebracht. Ook voor de Wave Dragon en SSG zal steeds worden uitgegaan van het geproduceerde vermogen als factor. Dit vermogen is namelijk de indicator of een locatie naar energie-output al dan niet goed zal scoren. De factor van het geproduceerde vermogen brengt zowel de significante golfhoogte  $H_s$  als de piekperiode  $T_p$  in rekening gezien de power matrix en het scatter diagram functie zijn van  $H_s$  en  $T_p$  (Hoofdstuk III). Het vermogen in rekening gebracht is hetgeen één Pelamis levert. De onderstelling berust op het feit dat het scoreverloop hetzelfde blijft ongeacht of dan wel één ofwel 100 golfenergieconvertoren in rekening worden gebracht.

Tabel V-1 biedt een overzicht van de geproduceerde vermogens per boei voor één Pelamis. De bepaling van het vermogen geschiedt op basis van de methode uitgelegd onder §III.5. Vervolgens kan een lineair scoreverloop bepaald worden in functie van het minimale (score 0) en het maximale (score 100) geproduceerde vermogen. De functie in ArcGIS ingevoerd is van de vorm:

$$y = 0,6493506 \cdot x - 6,6722918 \text{ [-]} \quad (V-3)$$

Locatie	Geproduceerd vermogen/toestel [kW]
<b>België</b>	
Westhinder	52,031
Wandelaar	22,651
Trapegeer	10,281
Oostende	13,542
Bol van Heist	23,942
Akkaert	34,556
<b>Nederland</b>	
ELD	104,216
EUR	75,107
K13	116,935
LEG	60,140
MPN	53,573
SCW	26,782
SON	73,744
SWB	55,226
YM6	88,289
<b>Duitsland</b>	
Fino	113,316
Helgoland	58,131
NSBII	164,350
Westerland	46,262

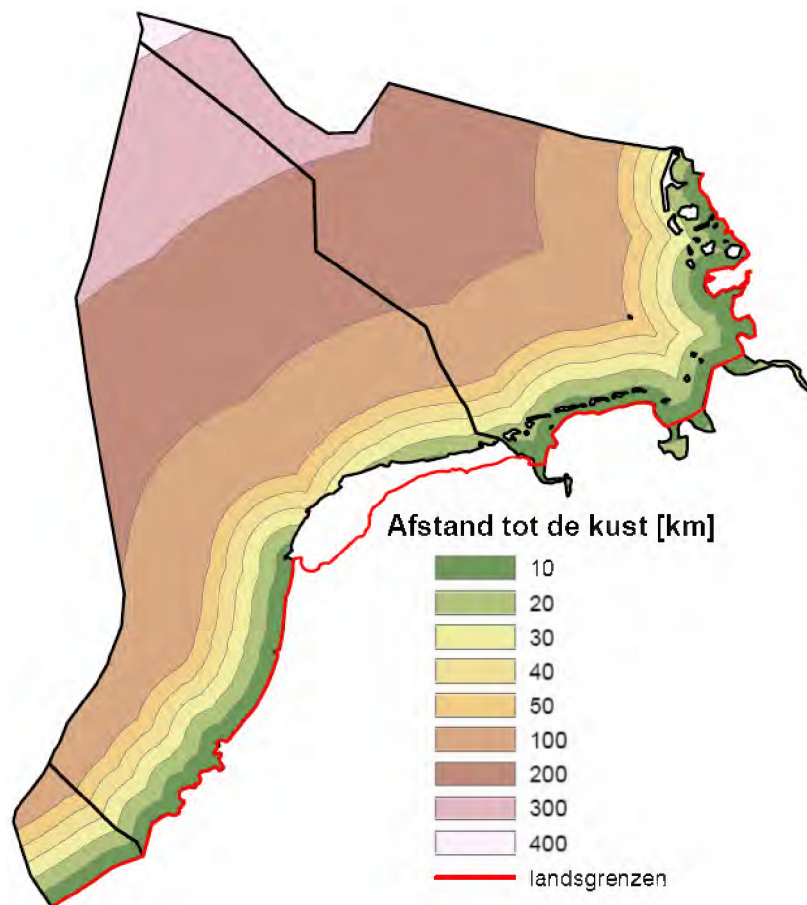
Tabel V-1: Geproduceerd vermogen per meetboei op het BCP, NCP en DCP voor de Pelamis

### V.2.2 Afstand tot de kust

Een onderzeese elektriciteitskabel is één van de duurdere onderdelen van een golfenergieconverteerparc. De aanlanding kan rechtstreeks gebeuren door een kabel te leggen van het golfenergieconverteerparc tot aan een bestaande gridconnectie of kan onrechtstreeks geschieden via een loodrechte aanlanding op de kustlijn en vervolgens m.b.v. een landkabel tot de bestaande gridconnectie. De keuze hiervan is niet ondubbelzinnig en zal variëren van plaats tot plaats gezien een verschil in kostprijs tussen land- en zeekabel (zowel voor installatie als voor kabelkost, Hoofdstuk IX). Een onderscheid tussen de factoren afstand tot de kust en afstand tot de gridconnectie dient daarom gemaakt.

De maximale afstand van de kust tot het gebied van de Zuidelijke Noordzee in deze scriptie beschouwd, bedraagt 400 km. Aan een afstand van 10 km of lager wordt een score van 100 toegekend. Op basis van de lineaire interpolatie en de methode beschreven door Zadeh [46] kunnen de scores in Tabel V-2 vastgelegd worden. De bijhorende vergelijking wordt gegeven door (V-4).

$$y = -\frac{10}{39} \cdot x + \frac{4.000}{39} \quad [-] \quad (V-4)$$



Figuur V-4: Visualisatie van de factor afstand tot de kust

Afstand tot de kust [km]	Scores [-]
10	100,000
20	97,436
30	94,872
40	92,308
50	89,744
100	76,923
200	51,282
300	25,641
400	0,000

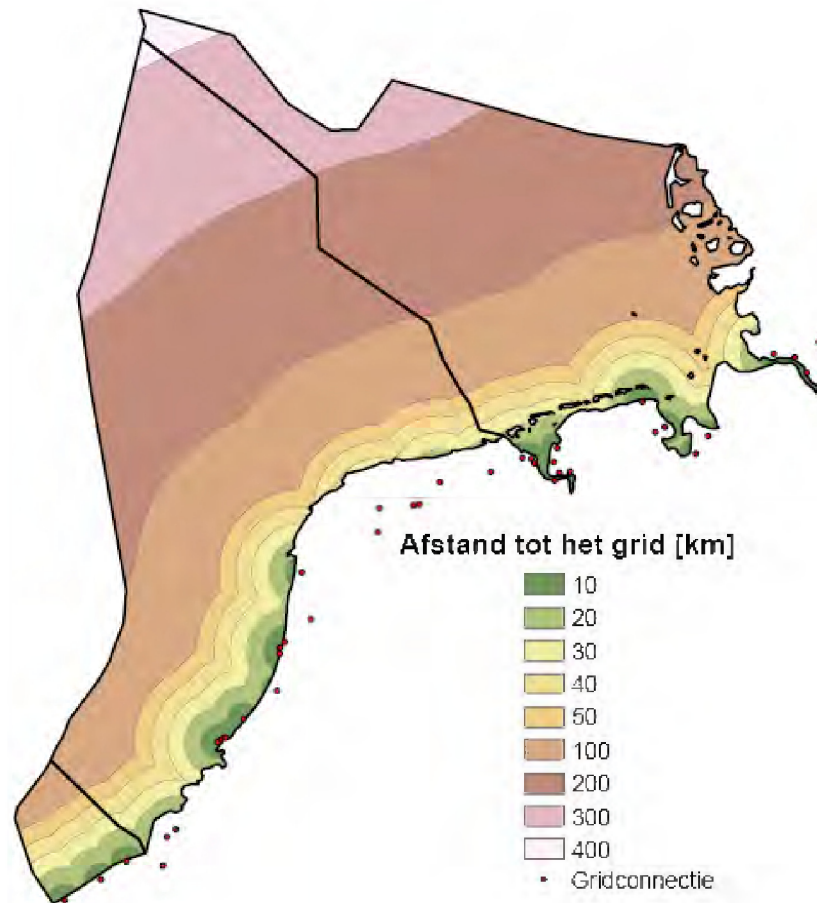
**Tabel V-2: Scores horende bij de factor afstand tot de kust voor de Pelamis**

In [57] wordt melding gemaakt van een maximumafstand van ongeveer 80 km tot de kust. Ten einde het studiegebied niet al te zeer te beperken wordt verkozen grotere afstanden wel in rekening te brengen zij het met een minder goede score. Figuur V-4 geeft een visualisatie van de factor afstand tot de kust zoals ingegeven in ArcGIS. De afstand tot de kust is gebaseerd op de kust van het vaste land (rode lijn op Figuur V-4) aangezien de gridconnecties op het vaste land gelegen zijn. Een beperking van het commando "Multiple ring buffer" gebruikt bij de invoer in ArcGIS (§VII.3.2.1), is het aantal in te voeren bufferafstanden. Bij invoer van meer dan 10 bufferafstanden, worden regelmatig enkele buffers niet getekend. Er is daarom gekozen voor de invoer van maximaal 10 buffers, en de bufferafstand klein te houden dicht bij de kust naar analogie met de maximumafstand vermeld in [57].

### ***V.2.3 Afstand tot de gridconnectie***

Evenzeer als bij de afstand tot de kustlijn brengt de factor van de gridconnectie onrechtstreeks de kabelkost per lopende km in rekening. De maximale- en minimale afstanden van een mogelijk golfenergieconvertorpark tot een bestaande gridconnectie bedragen respectievelijk 400 km en 0 km. De bepaling van de scores voor deze factor in functie van de afstand is dan ook dezelfde als de scoreverdeling besproken onder §V.2.2. Hoewel de functie van het scoreverloop voor de afstand tot de gridconnectie dezelfde is als de functie voor de afstand tot de kust, is ze noodzakelijk. Er is namelijk een verschil in gewicht toegekend aan beide factoren (§VI.1).





Figuur V-5: Visualisatie van de factor afstand tot de gridconnectie

### V.2.4 Afstand tot dichtstbijgelegen haven

De factor afstand tot de haven houdt rekening met de te overbruggen afstand bij de installatie van het park en bij een onvoorzien of een regelmatig onderhoud. De scoreverdeling met betrekking tot de afstand tot de dichtstbijgelegen haven gaat uit van dezelfde minimale en maximale afstanden tot de kust: respectievelijk 0 km en 400 km. De intervallen waarover geïnterpoleerd wordt, verschillen echter in vergelijking met de intervallen onder de factoren kust en gridconnectie. Dit verschil vindt zijn oorsprong in de toekenning van de buffers. Er wordt in dit geval geopteerd om de grenzen steeds te laten verspringen om de 50 km. In de bepaling van de kostprijs zal het namelijk niet zozeer een verschil uitmaken indien de haven zich 10 km verder bevindt maar wel wanneer de haven 50 à 100 km verder gelegen is. Tabel V-3 biedt een overzicht van de vastgelegde scoreverdeling, de bijhorende functie is van de vorm:

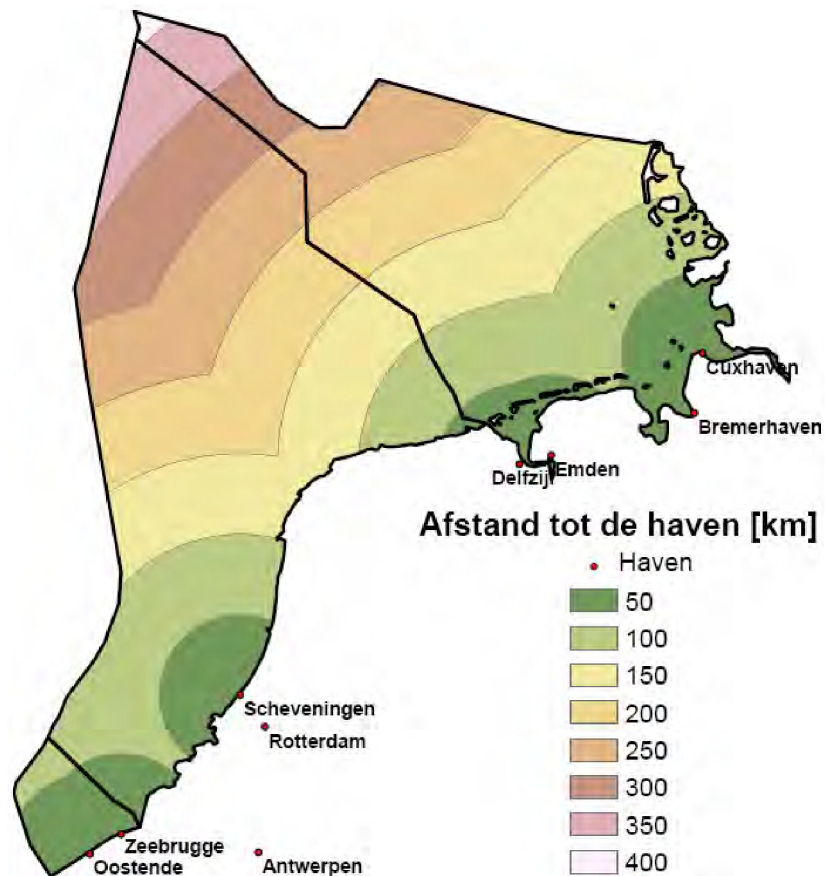
$$y = \frac{-2}{7} \cdot x + \frac{800}{7} \quad (V-5)$$



Afstand tot de haven [km]	Score [-]
50	100,000
100	85,714
150	71,429
200	57,143
250	42,857
300	28,571
350	14,286
400	0,000

Tabel V-3: Scores horende bij de factor afstand tot de haven voor de Pelamis

Een overzicht van de meest geschikte en in rekening gebrachte havens wordt gegeven in Figuur V-6 [62]. De havens Antwerpen en Rotterdam zijn eigenlijk overbodig aangezien er steeds andere havens zijn die dichterbij het park.



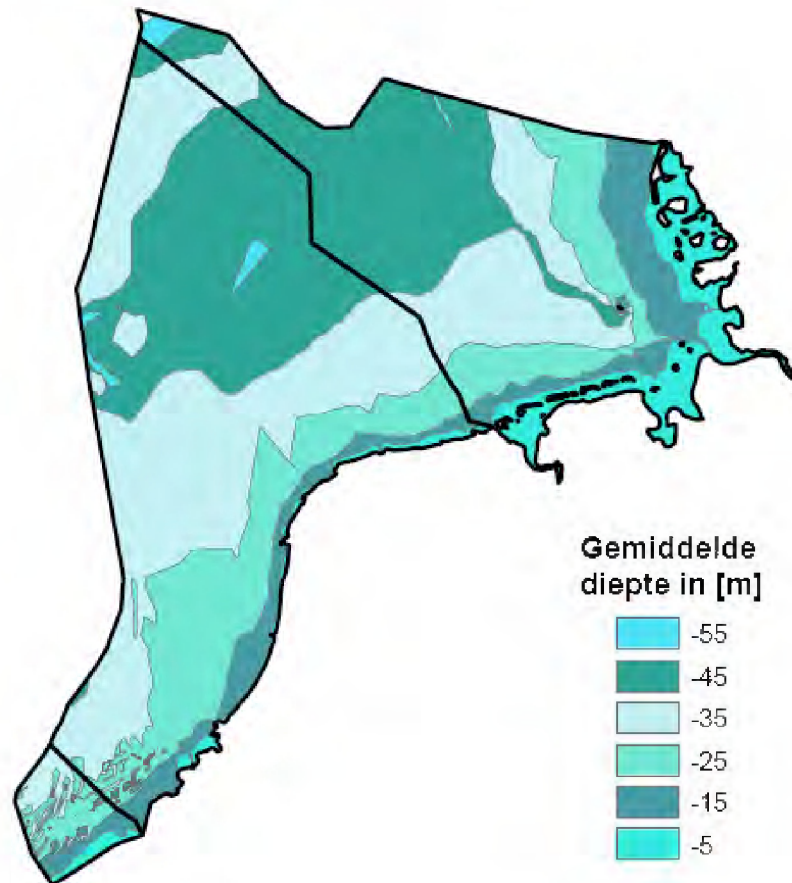
Figuur V-6: Visualisatie van de factor afstand tot de haven

### V.2.5 Beschikbare diepte of bathymetrie

De Pelamis wordt bij voorkeur geplaatst in diepten groter dan 50 m (§II.2). Voor waarden groter dan of gelijk aan 50 m zal daarom een score van 100 in rekening worden gebracht. Een score van nul wordt toegekend aan dieptes kleiner of gelijk aan 10 m. De diepte is niet enkel

toestelafhankelijk maar is evenzeer bepalend voor de verankering van het toestel en de installatie van de kabel.

Het gebied in huidige studie beschouwd, omvat diepten tussen 0 m en 60 m (Figuur V-7). [40] vermeldt een gemiddelde diepte van 50 m in de Zuidelijke Noordzee. De installatiekost m.b.t. de kabel zal slechts voelbaar verhogen indien sprake van diepten groter dan 100 m à 150 m. Met betrekking tot de diepte-afhankelijkheid van de verankering wordt van dezelfde veronderstelling uitgegaan omwille van een gebrek aan beschikbare informatie in dit geval.



**Figuur V-7: Gemiddelde diepte van de Noordzee op het BCP, NCP en DCP**

Samenvattend kan gesteld worden dat in onderhavige scriptie enkel het toestel zijn invloed zal uitoefenen op de scoreverdeling voor de dieptes, maar dat in een ruimer kader (met grotere beschikbare dieptes, bijvoorbeeld langs de kust van Noorwegen) ook kabel en verankering in rekening dienen gebracht te worden.

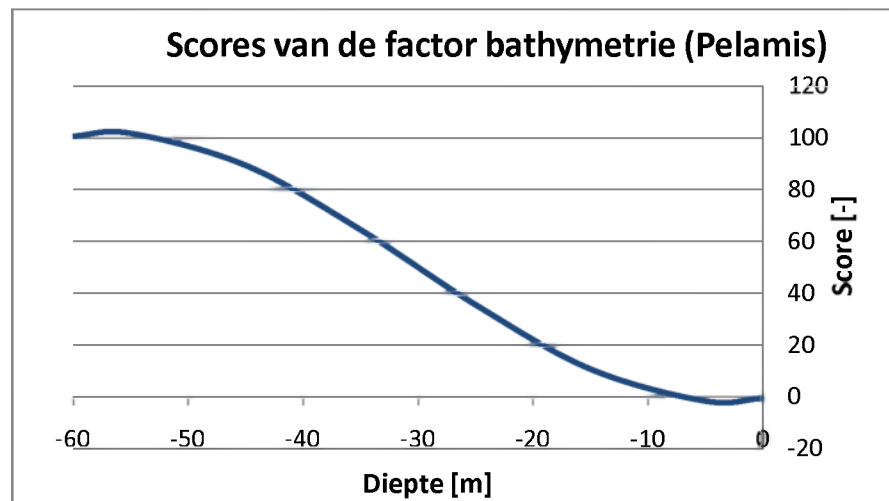
De scoreverdeling voor factor beschikbare diepte wordt in Tabel V-4 en op Figuur V-8 weergegeven. Voor een diepte van -5 m wordt een score van -1,711 waargenomen, voor een diepte van -55 m is dit 101,711. Deze grenswaarden stemmen niet ten volle overeen met de oorspronkelijke grenzen van 0 en 100 zoals standaard vastgelegd voor de scores. De oorzaak hiervan is de noodzaak aan de invoer van een formule in ArcGIS (§VII.3.2.5). Om zo nauw

mogelijk aan te sluiten bij de oorspronkelijke scoreverdeling wordt gekozen voor een derdegraadskromme met als gevolg een lichte afwijking voor de uiterste grenswaarden van het interval:

$$y = 0,00138889 \cdot x^3 + 0,125 \cdot x^2 + 0,81349206 \cdot x - 0,59523810 \quad (V-6)$$

Diepte [m]	Oorspronkelijke scores [-]	Herrekenende scores [-]
0	0	-0,595
-5	0	-1,711
-15	10	10,640
-25	40	35,491
-35	70	64,509
-45	90	89,360
-55	100	101,711
-60	100	100,595

Tabel V-4: Scores horende bij de factor diepte voor de Pelamis



Figuur V-8: Scores horende bij de factor bathymetrie voor de Pelamis

### V.2.6 Bodemgesteldheid

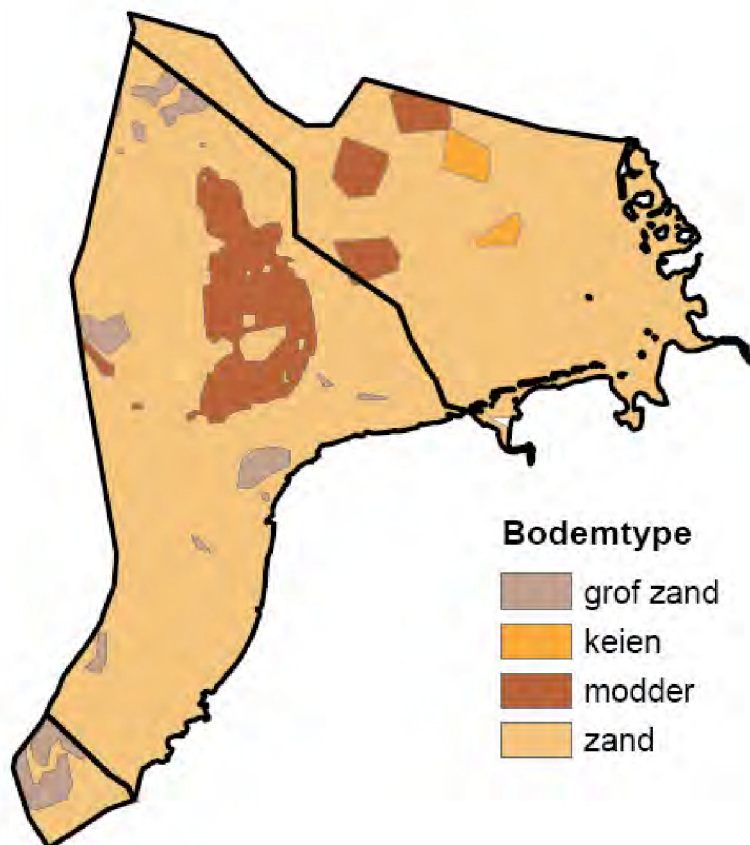
Het bodemtype zal zowel een invloed hebben op het aanleggen van de kabel als op de verankering van het toestel in de bodem. De aanleg van de kabel wordt besproken onder §VIII.2, informatie aangaande de relatie verankering – bodemtype was niet beschikbaar.

Zoals reeds eerder vermeld zal hier de verdeling van de scores discreet en dus niet lineair geschieden. De discrete onderverdeling gebeurt enerzijds op basis van beschikbare data m.b.t. tot de scores [57] en vindt anderzijds zijn oorsprong terug uit de discrete verdeling van bodemtypes in zones uit de (Zuidelijke) Noordzee. Figuur V-9 biedt een overzicht van de verschillende bodemtypes in de Noordzee. Overheersend wordt zand aangetroffen in de Zuidelijke Noordzee.

De scoreverdeling op basis van [57] wordt in Tabel V-5 weergegeven en verder aangenomen in de berekeningen.

Bodemtype	Scores [-]
Zand	100
Grof zand	80
Modder	20
Keien	10

Tabel V-5: Scores horende bij de factor bodemgesteldheid voor de Pelamis



Figuur V-9: Bodemtypes op het BCP, NCP en DCP

### V.2.7 Extreme omstandigheden

Extreme omstandigheden hebben hun invloed op de productie van de pelamis, veroorzaken moeilijkheden bij een noodzakelijk onderhoud en kunnen tot beschadiging van het toestel leiden.

Uit de power matrix volgt dat de Pelamis op non-actief wordt gesteld voor hoogtes groter dan 6,5 m, golfhoogten groter dan dit maximum worden verder beschouwd als extreem. Ter bepaling van de scores wordt daarom de maximaal waargenomen hoogte bepaald uit de beschikbare golfmeetboeigegevens. In [39] wordt uitgegaan van een 10-jaarlijkse golf als extreme waarde gezien de data aldaar over 10 jaar zijn opgemeten voor alle locaties. In huidige studie zal

ongeacht de meetperiode steeds de maximale hoogte in rekening worden gebracht. Dit is een benadering en vereenvoudiging maar steunt op het feit dat voor bijvoorbeeld Duitsland (de boei NSBII) een maximale golf van 9,25 m werd waargenomen. Dergelijke golf is in vergelijking met de andere waargenomen maximale golfhoogten voor de andere boeien veel strenger (Tabel V-6) en zou indien niet in rekening gebracht een onderschatting van het risico op schade inhouden.

<b>Overzicht van de extrema van België</b>		
<b>Boei</b>	<b>Periode van de meting</b>	<b>Maximum [m]</b>
Bol van Heist	1985-2004 (20j)	3,75
Oostende	1997-2005 (8j)	3,75
Trapegeer	1994-2004 (11j)	3,25
Wandelaar	1995-2004 (10j)	3,75
Westhinder	1990-2004 (13j)	4,75
Akkaert	1984-2004 (21j)	4,75
<b>Overzicht van de extrema van Nederland</b>		
<b>Boei</b>	<b>Periode van de meting</b>	<b>Maximum [m]</b>
ELD	1989-?	7,5
EUR	1985-huidig (21j)	6,5
K13	1985-huidig (21j)	7,5
LEG	1979-?	6,5
MPN	1985-1991 (7j)	6,5
SCW	1985-huidig (21j)	4,5
SON	1989-?	8,5
SWB	1979-?	5,5
YM6	1989-huidig (17j)	7,5
<b>Overzicht van de extrema van Duitsland</b>		
<b>Boei</b>	<b>Periode van de meting</b>	<b>Maximum [m]</b>
Fino	2003-2005 (2j)	6,75
Helgoland	1990-2004 (15j)	6,75
NSBII	1994-2004 (11j)	9,25
Westerland	2002-2005 (3j)	4,75

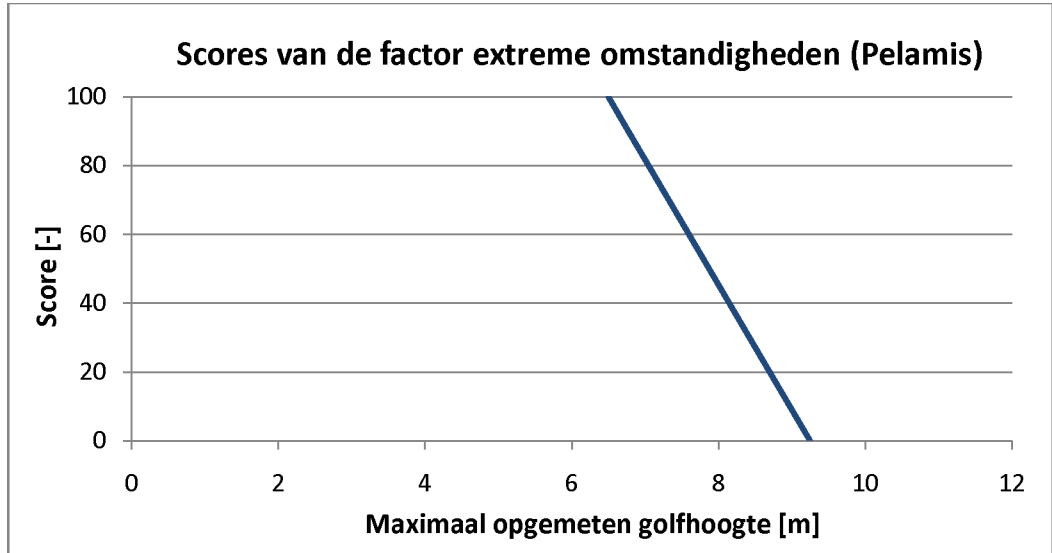
**Tabel V-6: Extreme golfhoogten horende bij de meetboeien**

Een indeling op basis van overschrijdingsfrequenties (O.F.) van 6,5 m per meetboei kan evenzeer toegepast worden. De verdeling van de scores op basis van de O.F. levert dezelfde rangschikking op per boei als deze van de scores bepaald met de maximaal optredende golfhoogte.

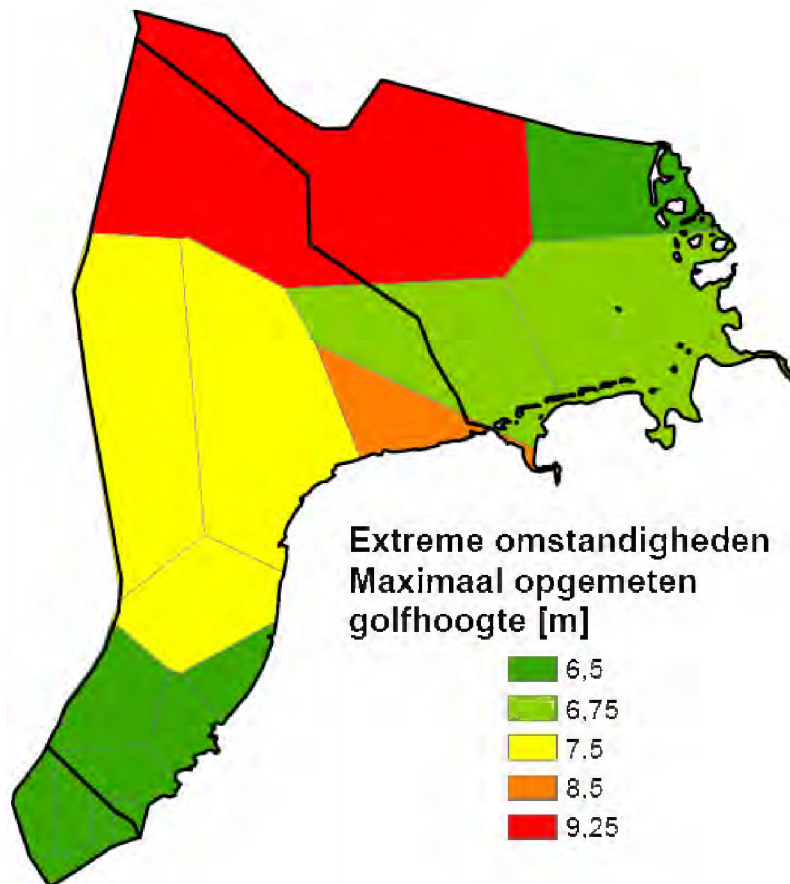
Ter bepaling van de scores wordt aan een maximaal opgemeten golfhoogte van 6,5 m of kleiner een score van 100 toegekend en de waarde 9,25 m krijgt de score 0. Vervolgens wordt een lineaire interpolatie toegepast, Figuur V-10 biedt een overzicht. De formule die in ArcGIS wordt geïmplementeerd, is van de vorm (V-7). Om deze functie te kunnen toepassen, krijgen alle gebieden met een maximale golfhoogte kleiner dan 6,5 m ook de waarde 6,5 m toegekend.

Indien dit niet wordt gedaan, zullen deze gebieden een score hoger dan 100 toegekend krijgen, wat niet toegelaten is.

$$y = \frac{-400}{11} \cdot x + \frac{3700}{11} \quad (V-7)$$



Figuur V-10: Scores horende bij de factor extreme omstandigheden voor de Pelamis



Figuur V-11: Maximaal opgemeten golfhoogte op het BCP, NCP en DCP

### V.2.8 Maandelijksse variatie van het beschikbare golfvermogen

Als laatste factor wordt de maandelijksse variatie van het golfvermogen in rekening gebracht om de betrouwbaarheid van het park m.b.t. tot een gelijkmatige productie niet uit het oog te verliezen. De betrouwbaarheid van een park op gebied van regelmatige elektriciteitsproductie is heel belangrijk [39]. Zo zal een energetisch gunstig park met grote schommelingen in golfenergie-output over de maanden heen, minder goed scoren in vergelijking met een locatie met rustiger maar betrouwbaarder en gelijkmatiger golfenergieverloop. De bepaling van het scoreverloop voor de variatie van de maanden wordt bepaald aan de hand van de maandelijksse variabiliteitsindex MV beschreven onder §III.3.2.

Tabel V-7 biedt een overzicht van de MV voor de verscheidene locaties. Een hoge MV wijst op een sterke variatie en is bijgevolg minder interessant. Eenmaal de MV opgesteld, wordt het lineaire scoreverloop bepaald waarbij aan het de minimale MV een waarde van 100 wordt toegekend en aan de maximale MV een score van 0. Aan de locaties waarvoor geen maandelijksse data beschikbaar waren, is een MV toegekend op basis van de omliggende gebieden en op basis van de tendens dat de MV hoger is verder van de kust.

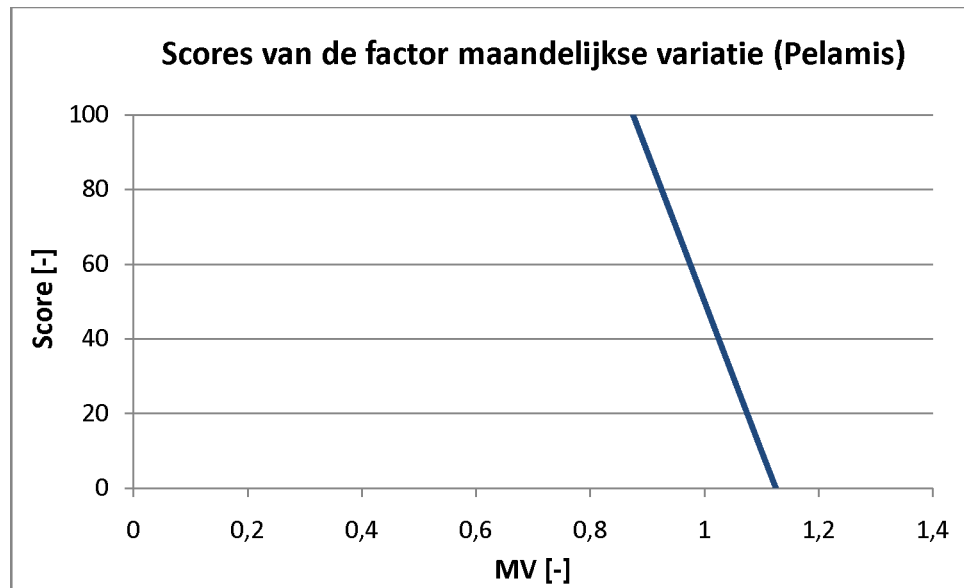
Locatie	MV [-]
<b>België</b>	
Akkaert	0,875
Westhinder	0,983
<b>Nederland</b>	
ELD	1,060
EUR	0,975
K13	1,125
LEG	0,916
MPN	0,989
SCW	0,688
SON	0,895
SWB	0,880
YM6	1,065

**Tabel V-7: Maandelijksse variabiliteitsindex per meetboei**

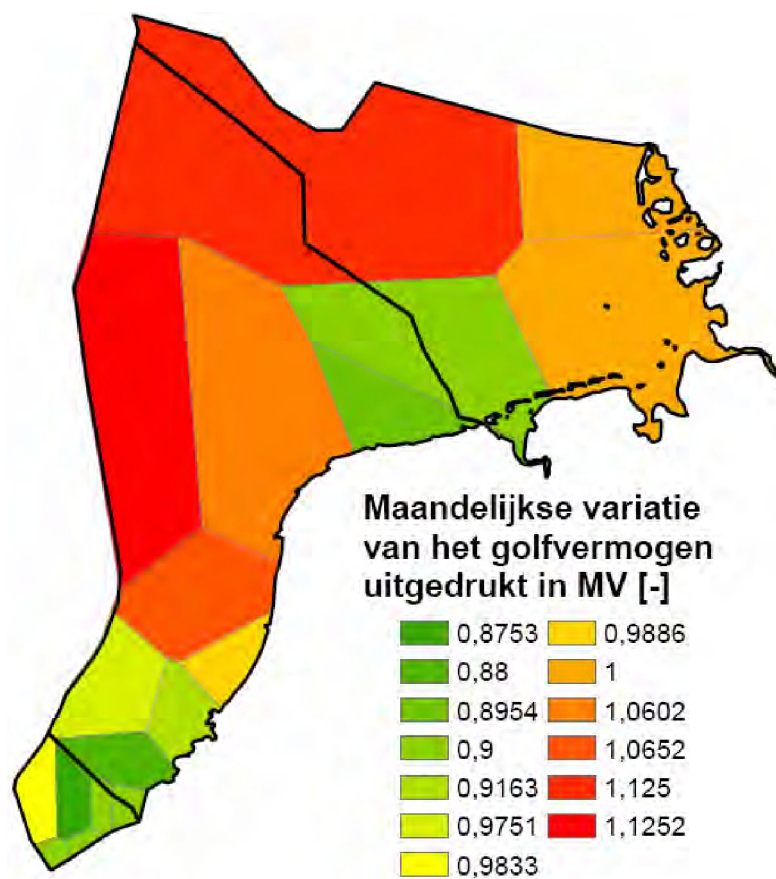
Figuur V-12 biedt een beeld van de berekende scores voor de in beschouwing genomen factor. De functie in ArgGIS ingegeven is van de vorm:

$$y = -400 \cdot x + 450 \quad (V-8)$$





Figuur V-12: Scores horende bij de factor maandelijkse variatie van het golfvermogen voor de Pelamis



Figuur V-13: Maandelijks variatie van het golfvermogen uitgedrukt in MV [-] op het BCP, NCP en DCP



## V.3 SSG

De SSG is een toestel dat op de kust wordt geplaatst in een golfbreker. Enkel de omgeving van de havens wordt in rekening gebracht als mogelijk locatie omdat in de meeste havens één of meerdere golfbrekers voorkomen en het voor deze scriptie niet bekend is op welke andere plaatsen golfbrekers gebouwd zijn. Gezien het toestel zich op de kust en in geringe diepte bevindt, zullen de effecten van shoaling en refractie in rekening dienen gebracht te worden bij de bepaling van de scores. De figuren horende bij de verschillende factoren worden weergegeven in Bijlage B.

### V.3.1 *Geproduceerd vermogen*

Net als bij de Pelamis wordt voor de SSG uitgegaan van het geproduceerde vermogen voor één SSG. Er wordt bovendien van uitgegaan dat slechts één SSG geplaatst wordt. Na het in rekening brengen van het effect van shoaling en breking wordt voor volgende diepten het geproduceerde vermogen (in kW) berekend (Tabel V-8):

- Geval 1: de oorspronkelijke diepte van de meetboei (zonder shoaling en zonder breking).
- Geval 2: een diepte van 4,5 m (met shoaling en breking)
- Geval 3: een referentiediepte van 6,5 m (evenzeer met shoaling en breking)
- Geval 4: een dieptes van 8,5 m (evenzeer met shoaling en breking)

Als referentie ter bepaling van het scoreverloop van het geproduceerde vermogen wordt uitgegaan van geval 3. Het geproduceerde vermogen voor een diepte van 6,5 m neemt na breking en shoaling steeds (licht) toe t.o.v. de oorspronkelijke locatie. De winst in energie is het grootst voor Duitsland gezien het diepteververschil tussen de oorspronkelijke boei en de nieuwe referentiediepte in dit geval algemeen groter is in vergelijking met de boeien van het BCP en NCP. Voor België en Nederland is de winst slechts gering. Er wordt enkel rekening gehouden met de waarden die voorkomen in de buurt van een haven (onderlijnde boeien in Tabel V-8). Het maximale vermogen bedraagt dan 1112,30 kW (boei SON, NCP), het minimale vermogen is slechts 256,30 kW (boei Oostende, BCP). Alweer wordt een lineair verloop opgesteld tussen beide uiterste grenzen, tussenin wordt geïnterpoleerd. Het volgend verband wordt in dit geval in ArcGIS geïmplementeerd:

$$y = \frac{25}{214} \cdot x - \frac{12.815}{428} \quad (V-9)$$

Locatie	Geval 1	Geval 2: 4,5 m	Geval 3: 6,5 m	Geval 4: 8,5 m
<b>België</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>	<b>Geproduceerd vermogen [kW]</b>
Westhinder	794,61	834,61	795,86	800,05
Wandelaar	393,20	423,15	393,20	393,20
Trapegeer	198,82	198,82	198,82	198,82
<u>Oostende</u>	256,30	256,30	256,30	256,30
<u>Bol van Heist</u>	401,62	403,07	401,62	401,62
Akkaert	571,56	597,88	572,12	573,46
<b>Nederland</b>				
ELD	1530,80	1427,61	1563,50	1555,82
EUR	1111,16	1071,77	1113,32	1111,16
K13	1720,74	1609,15	1739,64	1720,74
LEG	903,19	870,49	904,69	904,32
<u>MPN</u>	799,24	773,65	806,23	799,26
SCW	412,36	410,51	412,75	412,36
<u>SON</u>	1088,00	1027,92	1112,30	1089,08
SWB	814,69	798,64	817,72	817,28
YM6	1306,96	1235,18	1325,77	1325,28
<b>Duitsland</b>				
Fino	1774,02	1816,78	1966,59	1816,16
<u>Helgoland</u>	871,82	891,44	945,82	897,59
NSBII	2736,39	2771,75	2928,83	2734,32
Westerland	656,40	671,32	687,15	667,50

Tabel V-8: Geproduceerd vermogen van de SSG bij verschillende dieptes

### V.3.2 Afstand tot de gridconnectie

Gezien de SSG op de kust geplaatst wordt dient de afstand tot de gridconnectie enkel over land te geschieden. Ter bepaling van de uiterste maximale afstand die in rekening dient gebracht, is de maximale afstand tussen 2 gridconnecties gezocht en vastgelegd op ongeveer 80 km. Als maximale afstand van de SSG tot een gridconnectie wordt een waarde van 40 km verkregen en wordt hieraan de score 0 toegekend. Aan locaties die op minder dan 5 km van een bestaande gridconnectie verwijderd zijn, wordt de score van 100 toegekend (Tabel V-9). Er wordt opnieuw lineair geïnterpoleerd tussen de grenzen. De formule is van volgende vorm:

$$y = \frac{-20}{7} \cdot x + \frac{800}{7} \quad (\text{V-10})$$

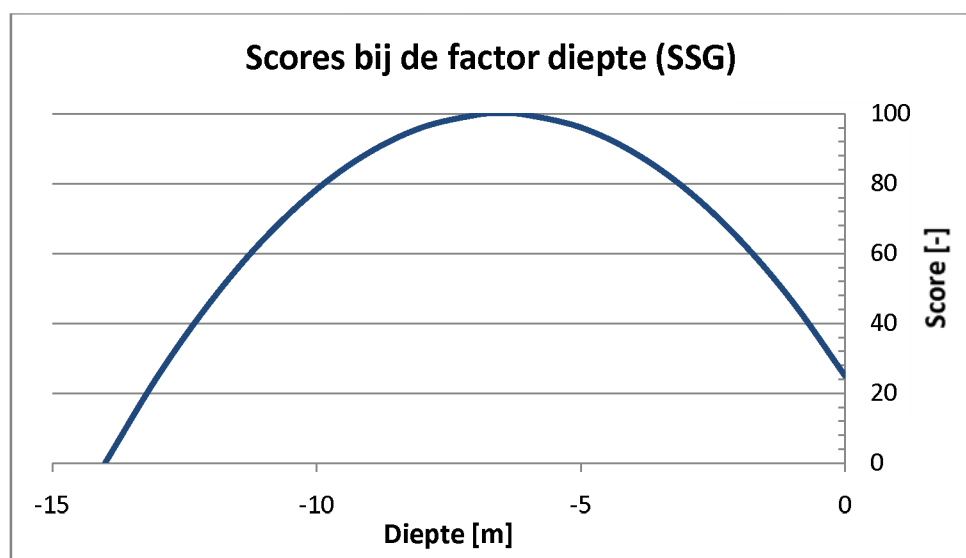
Afstand tot het grid [km]	Score [-]
5	100,000
10	85,714
15	71,429
20	57,143
25	42,857
30	28,571
35	14,286
40	0

Tabel V-9: Scores horende bij de factor afstand tot de gridconnectie voor de SSG

### V.3.3 Beschikbare diepte of bathymetrie

De referentiediepte voor de SSG is 6,5 m. Als de geproduceerde vermogens voor een diepte van 4,5 m en een diepte van 8,5 m worden vergeleken met de referentiediepte, dan wordt in beide gevallen een lichte reductie van de gemiddelde golfenergie over alle boeien waarnomen. In het geval van een diepte van 4,5 m is de reductie te wijten aan het feit dat de meest energetische golven sneller breker in vergelijking met de referentiediepte gezien de gering aanwezige diepte. Het diepteverschil tussen geval 4 (8,5 m diepte) en de oorspronkelijke dieptes van de boeien is in dit geval kleiner en soms heel beperkt (bijvoorbeeld voor de boeien op het BCP met uitzondering van Akkaert en Westhinder) en verklaart aldus het energieverlies t.o.v. geval 3 (Tabel V-8). Er kan dus gesteld worden dat 6,5 m als ideale diepte kan beschouwd worden en dat aan waarden hoger of lager gelegen een mindere score dient toegekend. Evenzeer dient opgemerkt dat naarmate de diepte toeneemt ook de kostprijs van de golfbreker zal stijgen. Het verband voor de diepte aangenomen is daarom een tweedegraadspaarbool (V-11).

$$y = -1,778 \cdot x^2 - 23,11 \cdot x + 24,97 \quad (V-11)$$



Figuur V-14: Scores horende bij de factor bathymetrie voor de SSG

Op de website van BODC (British Oceanographic Data Centre) is een softwarepakket te vinden dat de dieptes van de oceanen en zeeën over de hele wereld weergeeft [63]. Er kan gezocht worden m.b.v. coördinaten in het WGS84 stelsel en de diepte wordt weergegeven als een geheel getal (in m). Voor de zones rond de havens, zijn de verschillende dieptes opgezocht en ingevoerd in ArcGIS. Voor de Wave Dragon (§V.4.6) kunnen deze gegevens ook gebruikt worden maar het gebied dat daar bestudeerd wordt, is te groot om alle punten handmatig in te voeren. Omdat de data representatief zouden zijn, moeten er immers veel punten op een kleine oppervlakte ingegeven worden. Voor de Wave Dragon zou dit neerkomen op duizenden punten voor het hele gebied.

### ***V.3.4 Bodemgesteldheid***

Net als bij de Pelamis wordt uitgegaan van een discrete verdeling van de scores voor de factor bodemgesteldheid. De scores die worden aangenomen zijn dezelfde als vermeld in Tabel V-5 onder §V.2.6.

### ***V.3.5 Extreme omstandigheden***

Uit de power matrix van de Wave Dragon wordt afgeleid dat zich geen productie voordoet indien de golfhoogte meer dan 6,5 m bedraagt. Een analyse van de scatter diagrammen na shoaling en breking voor een referentiediepte van 6,5 m levert geen enkele boei op met een significante golfhoogte  $H_s$  groter dan 6,5 m. Bijgevolg wordt aan elke boei een score van 100 toegekend voor de factor van de extreme omstandigheden. Er kan geoordeeld worden dat deze factor een gewicht van 0 moet krijgen omdat alle gebieden een gelijke score hebben. Het is echter mogelijk dat in de omgeving van andere havens golfhoogten voorkomen die hoger zijn dan 6,5 m.

### ***V.3.6 Richtingsafhankelijkheid***

De SSG is een golfenergieconvector die wel richtingsafhankelijk is, dit in tegenstelling tot de Pelamis. Het scoreverloop zal berekend worden aan de hand van de directionele index of kortweg DI. De hoek waarin golfenergie kan gewonnen worden bedraagt steeds  $180^\circ$  en wordt gevormd door 4 aanliggende richtingen (bijvoorbeeld de richtingen: noord – noordoost – oost – zuidoost). De vier aanliggende richtingen vormen een sector  $i$ . Volgende sectoren worden in rekening gebracht:

- Sector 1: noord – noordoost – oost – zuidoost
- Sector 2: noordoost – oost – zuidoost – zuid
- ...
- Sector 7: west – noordwest – noord – noordoost
- Sector 8: noordwest – noord – noordoost – oost

Tabel V-10 biedt een overzicht van de beschikbare golfvermogens per sector voor elke meetboei waarvan directionele data beschikbaar zijn.

Locatie	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8
<b>België</b>								
Akkaert	1,31	1,20	1,61	1,82	2,28	2,39	1,98	1,77
Bol van Heist	0,67	0,59	0,92	1,39	1,84	1,91	1,58	1,12
OostendeDW	0,60	0,45	0,56	0,79	1,14	1,29	1,19	0,96
OostendeW	0,61	0,48	0,59	0,69	0,98	1,10	0,99	0,90
Trapegeer	0,60	0,47	0,57	0,63	0,90	1,03	0,93	0,86
Wandelaar	0,95	0,78	1,01	1,20	1,65	1,82	1,59	1,39
Westhinder	1,48	1,27	2,09	2,52	3,07	3,29	2,46	2,03
<b>Nederland</b>								
ELD	2,33	1,99	3,31	5,89	7,53	7,87	6,55	3,97
EUR	1,85	1,77	3,04	4,32	5,2	5,28	4,01	2,73
K13	3,32	2,98	4,29	6,00	7,49	7,83	6,52	4,81
LEG	1,59	1,21	2,17	3,60	4,52	4,9	3,94	2,51
MPN	1,11	0,81	1,87	3,35	4,33	4,63	3,57	2,09
SCW	1,11	0,71	0,94	1,58	2,12	2,52	2,29	1,65
SON	2,05	1,25	1,72	3,63	5,4	6,2	5,73	3,82
SWB	1,58	1,24	2,05	3,19	3,99	4,33	3,52	2,38
<b>Duitsland</b>								
YM6	1,99	2,01	3,58	5,48	6,69	6,67	5,10	3,20

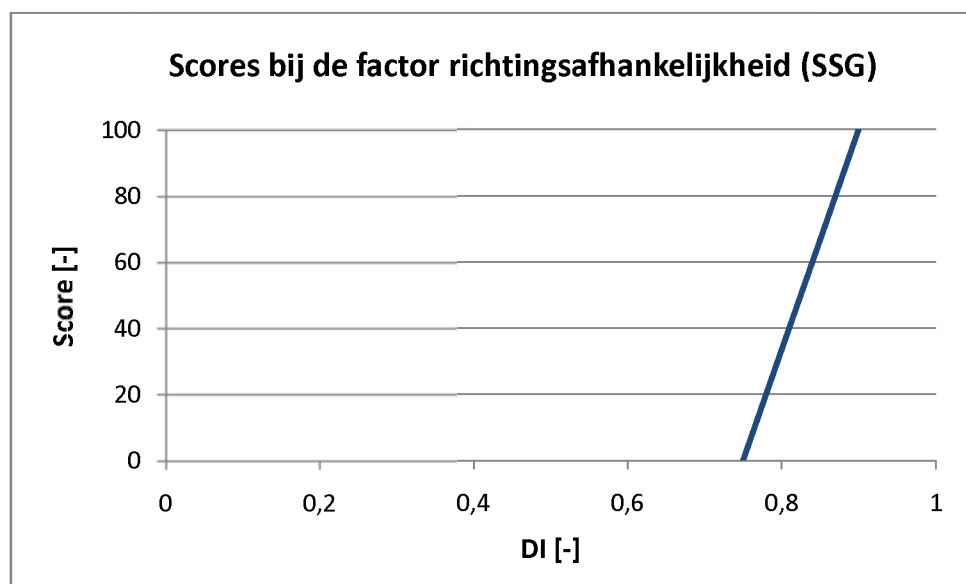
Tabel V-10: Beschikbare golfvermogens per sector per meetboei (in kW/m)

De directionele index kan nu berekend worden en wordt weergegeven in Tabel V-11. Net als bij de factor van het geproduceerd vermogen, worden enkel die boeien in rekening gebracht die in de omgeving van een haven gelegen zijn. Aan de maximale waarde (i.e. 0,9) wordt een score 100 toegekend. Een hoge waarde wijst op een sterke golfrichtingsafhankelijkheid van het golfklimaat wat positief is voor de SSG. De minimale waarde bedraagt 0,75 en krijgt een score 0, tussenin wordt alweer lineair geïnterpoleerd. Het volgende functieverband wordt in ArcGIS ingevoerd:

$$y = \frac{2.000}{3} \cdot x - 500 \quad (\text{V-12})$$

Locatie	DI [-]	Locatie	DI [-]
<b>België</b>		<b>Nederland</b>	
Akkaert	0,66	ELD	0,80
Bol van Heist	0,75	EUR	0,75
Oostende	0,78	K13	0,73
Trapegeer	0,68	LEG	0,80
Wandelaar	0,69	MPN	0,85
Westhinder	0,71	SCW	0,78
<b>Duitsland</b>		SON	0,83
Fino	0,98	SWB	0,78
		YM6	0,77

Tabel V-11: Directionele index per meetboei



Figuur V-15: Scores horende bij de factor richtingsafhankelijkheid voor de SSG

### V.3.7 Maandelijks variatie van het beschikbare golfvermogen

Aangezien ook hier enkel de boeien in rekening gebracht worden die in de buurt van een haven gelegen zijn, zal het scoreverloop dat opgesteld is bij de Pelamis (§V.2.8) aangepast moeten worden. De hoogste maandelijkse variabiliteitsindex MV bedraagt 1 (Helgoland, DCP) met een score van 0 en de laagste MV bedraagt 0,895 (SON, NCP) met een score van 100. De andere MV waarden krijgen een score volgend uit formule (V-13).

$$y = -\frac{20.000}{21} \cdot x + \frac{20.000}{21} \quad (V-13)$$

## V.4 Wave Dragon

Tot slot worden de scoreverlopen voor de Wave Dragon nader bestudeerd. Er zal een onderscheid gemaakt worden in een locatiebepaling van de Wave Dragon nabij de kust (binnen de 12-mijlszone) enerzijds en nabij een windmolenpark anderzijds. De 2 gevallen betekenen een opsplitsing van de scoreverlopen voor de volgende factoren:

- Afstand tot de kust
- Afstand tot de gridconnectie
- Afstand tot de haven
- Geproduceerd vermogen voor een vaste golfperiode
- Extreme omstandigheden
- Maandelijks variatie van het beschikbaar golfvermogen

De figuren horende bij de verschillende factoren worden weergegeven in Bijlage B.

### V.4.1 Geproduceerd vermogen voor een vaste golfhoogte

Als eerste wordt het geproduceerde vermogen in rekening gebracht. Zoals onder §III.5.3.2 vermeld, wordt gezien de beperkte informatie uit de power matrix van de Wave Dragon (Figuur III-10) een onderscheid gemaakt tussen het geproduceerde vermogen voor een vaste golfhoogte en voor een vaste periode (Tabel III-11). M.b.t. het vermogen voor een vaste golfhoogte kan gesteld worden dat België goed scoort. De minimale en maximale waarden bedragen respectievelijk 7,64 kW (NSBII, score = 0) en 13,39 kW (Oostende, score = 100). Het scoreverloop wordt gegeven door (V-14).

$$y = 17,3799 \cdot x + \frac{325}{3} \quad (V-14)$$

Geproduceerd vermogen [kW]	Score [-]
7,635	0,000
8,000	6,341
9,000	23,721
10,000	41,101
11,000	58,481
12,000	75,861
13,389	100,000

**Tabel V-12: Scores horende bij de factor geproduceerd vermogen met vaste golfhoogte voor de Wave Dragon**

### V.4.2 Geproduceerd vermogen voor een vaste golfperiode

Het minimale (score = 0) en maximale (score = 100) grenzen bedragen in dit geval 3,23 kW en 8,46 kW (Tabel III-11). De rechte aangenomen is van de vorm (V-15) en geldt bij de studie van de aanleg van een Wave Dragon in de nabijheid van een windmolenpark. Binnen de 12-mijlszone wordt een andere formule (V-16) aangenomen aangezien het maximale geproduceerde vermogen voor een vaste golfperiode 8,01 kW bedraagt.

$$y = 19,0978 \cdot x - 61,6717 \quad (\text{V-15})$$

$$y = 20,9205 \cdot x - 67,5732 \quad (\text{V-16})$$

### V.4.3 Afstand tot de kust

Voor de factor van de afstand tot de kust worden 2 gevallen in beschouwing genomen. Ten eerste wordt een locatie voor de Wave Dragon bepaald rekening houdend met de afstand tot de kust. Gezien het een schaalmodel en onderzoeksproject betreft, dient de afstand tot de kust zo minimaal mogelijk gehouden te worden om aldus de kabelkosten zoveel mogelijk te drukken. Waar mogelijk dient geopteerd te worden voor een eenvoudige kabel en rechtstreekse aansluiting op het elektriciteitsnet. De Wave Dragon zou in dit geval in de nabijheid van een bestaande of nieuwe pier kunnen staan, hetgeen onderhoud en controle ook sterk zou vergemakkelijken. Aan afstanden groter dan 22 km (12-mijlszone) wordt een score nul toegekend. De formule is van volgende vorm:

$$y = \frac{-100}{19} \cdot x + \frac{2200}{19} \quad (\text{V-17})$$

Afstand tot de kust [km]	Score [-]
3	100,000
6	84,210
9	68,421
12	52,631
15	36,842
18	21,053
22	0,000

**Tabel V-13: Scores horende bij de factor afstand tot de kust voor de Wave Dragon**

Een tweede geval dat onderzocht wordt omvat de keuze voor een golfenergieconvertorpark in de nabijheid van een windmolenpark. De factor afstand tot de kust zal in dit gevallen wegvallen.



### ***V.4.4 Afstand tot de gridconnectie***

Het scoreverloop is gelijkaardig aan het scoreverloop beschreven onder de factor van de afstand tot de kust. De formule is in dit geval van volgende vorm:

$$y = \frac{-20}{7} \cdot x + \frac{800}{7} \quad (\text{V-18})$$

<b>Afstand tot het grid [km]</b>	<b>Score [-]</b>
5	100,000
10	85,714
15	71,429
20	57,143
25	42,857
30	28,571
35	14,286
40	0,000

**Tabel V-14: Scores horende bij de factor afstand tot het grid voor de Wave Dragon**

Betreft het de keuze van een locatie in de nabijheid van een windmolenpark dan vervalt ook hier de factor afstand tot de gridconnectie vermits het toestel zal aangesloten worden in de nabijheid van het windmolenpark.

### ***V.4.5 Afstand tot dichtst bijgelegen haven***

De maximale grenzen in rekening gebracht ter bepaling van het scoreverloop verschillen voor de beide gevallen. In de nabijheid van de kust wordt een maximale afstand van 50 km beschouwd met een score gelijk aan 0. In de buurt van een windmolenpark bedraagt de maximale afstand 400 km. De minimale afstand bedraagt telkens 0 km, vervolgens wordt lineair geïnterpoleerd.

### ***V.4.6 Beschikbare diepte of bathymetrie***

De factor bathymetrie wordt in rekening gebracht maar alle gebieden krijgen een score 100. De reden hiervoor is de nauwkeurigheid van de beschikbare data. Om een onderscheid te maken tussen de verschillende dieptes en scores is het immers noodzakelijk diepteverschillen van ongeveer 1 m te kennen. Zoals in §V.3.3 vermeld, zijn deze data ter beschikking maar is het onbegonnen werk om deze dieptes allemaal handmatig in te geven. De ideale diepte voor de Wave Dragon bedraagt 6,5 m (Tabel II-1).

### ***V.4.7 Bodemgesteldheid***

Het scoreverloop is analoog als bij de Pelamis en SSG aangenomen.

### V.4.8 Extreme omstandigheden

Voor de factor van de extreme omstandigheden wordt de overschrijdingsfrequentie bepaald voor golfhoogten groter dan de maximale golfhoogte in de power matrix van de Wave Dragon (i.e. 1,11 m).

Tabel V-15 geeft een overzicht van de overschrijdingsfrequenties. Algemeen kan gesteld worden dat België het beste scoort (laagste O.F.) en Duitsland het slechtst. De minimale waarde bedraagt 4,11 % met een score van 100 en de maximale waarde bedraagt 50,34 % met een score van 0. Het lineaire scoreverloop volgens (V-19) wordt aangenomen voor de analyse in de nabijheid van de windmolenparken. Formule (V-20) wordt aangenomen binnen de 12-mijlszone.

$$y = -2,1631 \cdot x + 108,8903 \quad (\text{V-19})$$

$$y = -2,7122 \cdot x + 111,1473 \quad (\text{V-20})$$

Locatie	Overschrijdingfrequentie [%]
<b>België</b>	
Bol van Heist	7,63
Oostende	4,295
Trapegeer	4,11
Wandelaar	8,71
Westhinder	19,14
Akkaert	16,53
<b>Nederland</b>	
ELD	19,931
EUR	16,571
K13	23,847
LEG	13,134
MPN	9,732
SCW	4,333
SON	12,589
SWB	11,311
YM6	17,361
<b>Duitsland</b>	
Fino	40,98
Helgoland	21,48
NSBII	50,34
Westerland	18,91

Tabel V-15: Overschrijdingsfrequentie per meetboei

### ***V.4.9 Richtingsafhankelijkheid***

Het scoreverloop voor de factor richtingsafhankelijkheid is hetzelfde voor de parken in de omgeving van een windmolenpark en binnen de 12-mijlszone. Tabel V-10 geeft een overzicht van de geproduceerde golfvermogens per sector per meetboei en Tabel V-11 geeft de directionele index voor de meetboeien. Hoe hoger deze DI, hoe hoger de score zal zijn (V-21).

$$y = 312,5 \cdot x - 206,26 \quad (V-21)$$

### ***V.4.10 Maandelijksse variatie van het golfvermogen***

Voor de analyse nabij de windmolenparken wordt eenzelfde lineair scoreverloop voor de maandelijksse variatie van het golfvermogen toegekend als bij de Pelamis en SSG is toegekend (§V.2.8 en §V.3.7). Binnen de 12-mijlszone wordt formule (V-22) gebruikt.

$$y = -526,3158 \cdot x + 560,5263 \quad (V-22)$$

# Hoofdstuk VI: Gewichten

In Hoofdstuk V wordt binnen iedere factor een range van waarden, scores genoemd, vastgelegd om bijvoorbeeld het belang van de nabijheid bij de kust te benadrukken. Een vergelijking tussen de factoren onderling dient evenzeer uitgevoerd te worden. De onderlinge vergelijking gebeurt op basis van gewichten  $w_i$ . Dit hoofdstuk zal op basis van gegevens uit de literatuur [57], op basis van de haalbaarheidsstudie van Ampe A. [3] en op basis van een eigen schatting de factoren met elkaar vergelijken. De toekenning van de gewichten is toestelafhankelijk en zal voor de Pelamis, SSG en Wave Dragon elk afzonderlijk beschouwd worden.

## VI.1 Pelamis

### VI.1.1 Literatuur

Nobre A. stelt in [57] ter bepaling van een geschikte locatie voor een golfenergieconverteer een GIS-analyse voor (geo-spatial multi-criteria analysis methodology). De methode is een goede manier om met verschillende factoren rekening te kunnen houden. De methode gaat evenzeer uit van beperkingen (non-implementing areas) en factoren (features to include by weighted factors). Volgende factoren worden hierbij in rekening gebracht:

- Bodemgesteldheid (Sea Bottom Geology)
- Afstand tot de kust (Distance to Shore)
- Afstand tot de dichtstbijgelegen haven (Distance to Ports)
- Afstand tot de gridconnectie (Distance to Power Grid)
- Golfhoogte (Wave Height)
- Golfperiode (Wave Period)

Factor	Gewicht [-]
Bodemgesteldheid	10
Afstand tot kust	10
Afstand tot haven	10
Afstand tot het grid	20
Diepte	-
Golfvermogen	40
Extreme omstandigheden	10
Variatie van de maanden	-
Som	100

Tabel VI-1: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis volgens [57]

De factoren golfhoogte en periode worden in [57] elk apart onderzocht. In huidige studie wordt het geproduceerd vermogen berekend uit de beschikbare power matrices en scatter diagrammen. Gezien beide functie zijn van zowel de significante golfhoogte  $H_s$  en de piekperiode  $T_p$ , worden golfhoogte en piekperiode onder één gezamenlijke noemer beschouwd. De gewichten voor beide factoren (golfhoogte en piekperiode) worden dus opgeteld, een deel ervan (de waarde 10) wordt gereserveerd voor de extreme omstandigheden. Het gewicht van het golfvermogen bedraagt dan 40.

Enkele factoren met name de diepte en de variatie van de maanden, worden niet beschouwd in [57]. Daarom wordt aan deze factoren een gewicht van 0 toegekend.

### ***VI.1.2 Scriptie Ampe A.***

Ampe A. stelt in [3] een vergelijkende haalbaarheidsstudie op voor windenergie vs. golfenergie. De kosten voor de aanleg van een golfenergiepark van 106 Pelamissen (5,3 km op 1,8 km) op het Belgisch Continentaal Plat worden hierin in detail uitgerekend. Tabel VI-2 biedt een overzicht van de in [3] vermelde kosten gerelateerd aan de beschouwde factoren. Enkel de variabele kosten moeten in rekening gebracht worden aangezien de vaste kosten steeds zullen optreden en niet locatieafhankelijk zijn. In [3] is het onderscheid tussen de variabele en vaste kosten echter niet steeds duidelijk zodat de volledige kost in rekening wordt gebracht. Kosten die geen betrekking hebben op de factoren onder §V.2 worden niet in rekening gebracht. Om een range van waarden tussen 0 en 100 te bekomen is het procentuele aandeel van deze kosten berekend.

<b>Factor</b>	<b>Type kost</b>	<b>Kostprijs [€]</b>	<b>Gewicht [-]</b>	<b>Afgerond gewicht [-]</b>
Golfvermogen	GSC & Elektriciteit	58.289.956	34,16	34
Afstand tot de kust	Zeekabel	19.200.000	11,25	11
Afstand tot het grid	Zeekabel	28.800.000	16,88	17
Afstand tot de haven	Installatie & Onderhoud	26.889.721	15,76	16
Beschikbare diepte	Elektrische connectie	6.362.174	3,73	4
Bodemgesteldheid	Verankering	9.304.680	5,45	5
Extreme omstandigheden	Verzekering & Onverwacht onderh.	21.780.064	12,76	13
Maandelijkse variatie van het golfvermogen	-	-	-	-
Som		170.626.595	100	100

**Tabel VI-2: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis volgens [3]**

Ter verduidelijking van Tabel VI-2 wordt per factor vermeld welke kost in rekening is gebracht en wat de relatie is tot de factor:

- Bodemgesteldheid heeft een invloed op de verankeringskost. De kostprijs bedraagt 9.304.680 €.

- De afstand tot de kust heeft zijn weerslag op de kabelkost. De totale kabelkost bedraagt 48.000.000 €, hiervan is 40% in rekening gebracht (i.e. 19.200.000 €), het resterende percentage is in rekening gebracht voor de afstand tot de gridconnectie. De percentages zijn vastgelegd op basis van de vergelijking van de afstanden voor een rechtstreekse en een onrechtstreekse connectie. Een rechtstreekse connectie beschouwt een zeekabel die onmiddellijk loopt van het park naar de gridconnectie op land. Een onrechtstreekse connectie houdt rekening met een loodrechte aanlanding van de zeekabel op de kust om vervolgens via een landkabel aan te sluiten op het net.
- De afstand tot de gridconnectie heeft eveneens een invloed op de kabelkost. Het resterende percentage (i.e. 60% ) is in deze factor opgenomen (28.800.800 €).
- De afstand tot de haven brengt het onderhoud en de installatie van het park in rekening. Onder onderhoud wordt verstaan: een jaarlijks onderhoud (13.455.309 €), een 10-jarig onderhoud aan de toestellen (8.875.801 €) en een 10-jarige onderhoud aan de kabels (1.775.160 €). De installatiekost bedraagt 2.783.451 €.
- De diepte komt voor in de elektrische connectie tussen de Pelamissen onderling. De kostprijs voor dit segment komt neer op 6.362.174 €.
- Het geproduceerde vermogen heeft zijn invloed op de inkomsten van de groenestroomcertificaten – kortweg GSC – (35.420.520 €) en de inkomsten t.g.v. de geproduceerde elektriciteit (22.869.436 €).
- De extreme omstandigheden hebben betrekking op de kosten van verzekering (19.997.993 €) en de kosten voor een onverwacht onderhoud (1.782.071 €).
- Met betrekking tot de maandelijkse variatie van het golfvermogen worden geen kosten in beschouwing genomen. Het gewicht is gelijk aan nul gesteld.

Bij de prijzen is steeds uitgegaan van de kostprijs waaraan de hoogste waarschijnlijkheid is toegekend in [3]. Indien slechts één prijs beschikbaar was, lag de keuze voor de hand. Bij de factoren afstand tot de haven, geproduceerd vermogen en extreme omstandigheden is de NPV (netto actuele waarde of net present value) berekend m.b.v. een discontovoet van 12 % zoals in [3] als basisgeval is aangenomen. De methode voor de berekening van de NPV wordt besproken in Hoofdstuk IX.

Een evaluatie van de verkregen gewichten leert dat het geproduceerde vermogen de belangrijkste factor is. De gridconnectie blijft nog steeds belangrijk, maar het belang van de haven is toegenomen in vergelijking met de gewichten in Tabel VI-1. De factor bodemgesteldheid daarentegen is in gewicht gedaald met een percentage van 50%.

### VI.1.3 Eigen schatting

Tot slot worden gewichten voorgesteld op basis van een eigen schatting. De schatting gebeurt m.b.v. van de methode uiteengezet in [61]. Deze methode leent zich tot het maken van een inschatting van de gewichten indien geen data beschikbaar zijn. Voor de Pelamis is de methode uitgevoerd om te beschikken over een 3<sup>de</sup> stel van gewichten en de aldus berekende gewichten te vergelijken met de gewichten bepaald in §VI.1.1 en §VI.1.2.

De bepaling gebeurt op basis van een onderlinge vergelijking van de factoren naar hun graad van belangrijkheid. Een 9-punten schaal (9-point continuous scale) stelt de mogelijkheden van graden van belangrijkheid voor (Tabel VI-3).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extreem	heel sterk	sterk	gematigd	gelijk	gematigd	sterk	heel sterk	extreem

Tabel VI-3: Graden van belangrijkheid volgens [61]

Ter verduidelijking wordt een voorbeeld gegeven: indien de factor bodemgesteldheid extreem belangrijk is in vergelijking met de diepte dan wordt de waarde 9 toegekend. Geldt het omgekeerde dan wordt een waarde 1/9 ingevuld.

De methode wordt geïmplementeerd in een matrix waarbij de factoren in de 1<sup>ste</sup> kolom steeds vergeleken worden met de factoren van de bovenste rij. Deze methode resulteert voor de Pelamis in Tabel VI-4.

Factor	B	K	H	Gr	D	Go	E	M
Bodem (B)	1	1/5	1/3	1/7	5	1/9	1/3	1/3
Kust (K)	5	1	5	1/3	5	1/7	5	3
Haven (H)	3	1/5	1	1/7	3	1/9	1	1
Grid (Gr)	7	3	7	1	7	1/3	7	3
Diepte (D)	1/5	1/5	1/3	1/7	1	1/9	1	1/5
Golfvermogen (Go)	9	7	9	3	9	1	7	5
Extreme omstandigheden (E)	3	1/5	1	1/7	1	1/7	1	1/3
Maanden (M)	3	1/3	1	1/3	5	1/5	3	1

Tabel VI-4: Vergelijkingsmatrix volgend uit een eigen schatting (stap 1) voor de Pelamis

Omdat het niet mogelijk is elke waarde in de matrix opgenomen, afzonderlijk te bespreken worden enkel de gedachtegang en de belangrijkste trends uit de matrix weergegeven:

#### *Algemene trends van factoren afzonderlijk*

- De golfrichtingsafhankelijkheid wordt niet in rekening gebracht, gezien de Pelamis niet golfrichtingsafhankelijk is.

- Ten eerste kan afgeleid worden dat het geproduceerde vermogen de belangrijkste factor is. Het is namelijk de bedoeling zoveel mogelijk elektriciteit te produceren opdat het project haalbaar zou zijn.
- Een tweede belangrijke factor is de afstand tot de gridconnectie. Deze afstand vertaalt zich namelijk in de kabelkost, hetgeen een groot deel uitmaakt van de totale kostprijs van het park.
- De afstand tot de gridconnectie is in vergelijking met de afstand tot de kust slechts “gematigd” belangrijker. Afhankelijk van de ligging van het golfenergieconverteerpark en het gridconnectiepunt zal een rechtstreekse kabelaansluiting op het grid of een aansluiting loodrecht op de kust en vervolgens naar het grid het meest interessant zijn. Een kabel op zee is immers duurder dan een kabel op land. Er wordt aangenomen dat het vaker interessant is om de kabel rechtstreeks naar het grid te leggen.

*Enkele vergelijkingen tussen twee factoren onderling*

- De afstand tot de kust is 5 keer of “sterk” belangrijker dan de bodem. De veronderstelling berust op het feit dat de kabelkost (afstand tot de kust) zal overheersen op de verankeringskost (bodem). Ook kan gesteld worden dat de aanleg van de kabel zelf (bodem) minder duur is dan de kabelkost zelf (afstand tot de kust) (Hoofdstuk VIII).
- De afstand tot het grid is 7 maal belangrijker dan de bodemgesteldheid, rekening houdend met het grotere belang toegekend aan de afstand tot het grid in vergelijking met de afstand tot de kust en met de reeds besproken relatie tussen de afstand tot de kust en de bodem.
- Als de afstand tot de haven met de bodem vergeleken wordt, kan vastgesteld worden dat de haven “gematigd” belangrijker is dan de bodem. Er wordt verondersteld dat sleep- en installatiekosten en kosten voor een gepland en onverwacht onderhoud hoger liggen dan de kosten gerelateerd aan de bodemgesteldheid.
- Bij de vergelijking van de diepte met de bodem wordt aangenomen dat de bodem 5 keer belangrijker is dan de diepte. Deze aanname gebeurt voornamelijk omwille van de beperkte diepteverschillen in de Zuidelijke Noordzee voor het BCP, NCP en DCP (de maximale diepte loopt slechts op tot ca. 60 m). Er wordt verondersteld dat de extra kost voor baggeren op een extra diepte van 10 m minder duur is dan baggeren in een andere grondsoort.

Er dient opgemerkt dat de waarden in de matrix aangenomen, richtwaarden zijn en geen exacte waarden zijn. De aangenomen richtwaarden bieden een eerste indicatie voor de graad van belangrijkheid van iedere factor op zich en van de factoren onderling.



Nu Tabel VI-4 is vastgelegd, kunnen de gewichten berekend te worden. Een benaderende methode werkt als volgt: eerst wordt elk getal van de matrix gedeeld door de som van de kolom waarin het getal zich bevindt en vervolgens vermenigvuldigd met 100. Dit levert Tabel VI-5 op.

<b>Factor</b>	<b>B</b>	<b>K</b>	<b>H</b>	<b>Gr</b>	<b>D</b>	<b>Go</b>	<b>E</b>	<b>M</b>
Bodem (B)	3,21	1,65	1,35	2,73	13,89	5,16	1,32	2,40
Kust (K)	16,03	8,24	20,27	6,36	13,89	6,64	19,74	21,63
Haven (H)	9,62	1,65	4,05	2,73	8,33	5,16	3,95	7,21
Grid (Gr)	22,44	24,73	28,38	19,09	19,44	15,49	27,63	21,63
Diepte (D)	0,64	1,65	1,35	2,73	2,78	5,16	3,95	1,44
Golfvermogen (Go)	28,85	57,69	36,49	57,27	25,00	46,46	27,63	36,06
Extreme omstandigheden (E)	9,62	1,65	4,05	2,73	2,78	6,64	3,95	2,40
Maanden (M)	9,62	2,75	4,05	6,36	13,89	9,29	11,84	7,21

**Tabel VI-5: Vergelijkingsmatrix volgend uit een eigen schatting (stap 2) voor de Pelamis**

Vervolgens wordt een gemiddelde van elke rij genomen en dit gemiddelde geldt als gewicht voor de factor van deze rij. Tabel VI-6 biedt een overzicht van de finaal berekende gewichten per factor. Aangezien deze gewichten schattingen zijn, wordt gewerkt met gehele getallen.

<b>Factor</b>	<b>Gewicht [-]</b>
Bodemgesteldheid	4
Afstand tot kust	14
Afstand tot haven	5
Afstand tot het grid	22
Diepte	3
Golfvermogen	40
Extreme omstandigheden	4
Variatie van de maanden	8
Som	100

**Tabel VI-6: Overzicht van de gewichten op basis van een eigen schatting**

### ***VI.1.4 Samenvatting***

Op basis van Tabel VI-1, Tabel VI-2 en Tabel VI-6 kan een gewicht per factor vastgelegd worden door het gemiddelde te nemen van de 3 waarden. Tabel VI-7 geeft een overzicht.

Uit Tabel VI-7 kan besloten worden dat het geproduceerde vermogen de belangrijkste factor vormt. Verdere factoren die een belangrijke rol spelen zijn: afstand tot het grid (bepaald door o.a. de kabelkost), afstand tot de kust (bevat o.a. een onrechtstreekse kabelkost), afstand tot de haven (van belang voor o.a. onderhoud).

Factor	Literatuur	Haalbaarheidsstudie	Eigen schatting	Gemiddelde
Bodemgesteldheid	10	5	4	6
Afstand tot kust	10	11	14	12
Afstand tot haven	10	16	5	10
Afstand tot het grid	20	17	22	20
Diepte	-	4	3	2
Golfvermogen	40	34	40	38
Extreme omstandigheden	10	13	4	9
Maandelijkse variatie	-	-	8	3
Som	100	100	100	100

Tabel VI-7: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis

## VI.2 SSG

Aangezien in de literatuur geen gewichten bepaald werden voor de SSG, zijn de gewichten gebaseerd op een eigen schatting. Deze schatting is gebeurd in functie van de kenmerken van het toestel. Zo werd Tabel VI-8 opgesteld.

Factor	B	Gr	D	Go	E	R	M
Bodem (B)	1	1/5	1/5	1/9	3	1/7	1/3
Grid (Gr)	5	1	1/3	1/7	5	1/3	1
Diepte (D)	5	3	1	1/5	7	1/3	3
Golfvermogen (Go)	9	7	5	1	7	3	5
Extreme omstandigheden (E)	1/3	1/5	1/7	1/7	1	1/5	1/3
Golfrichtingsafhankelijkheid (R)	7	3	3	1/3	5	1	3
Maandelijkse variatie (M)	3	1	1/3	1/5	3	1/3	1

Tabel VI-8: Vergelijkingsmatrix voor de SSG

Enkele verklaringen m.b.t. de waarden in de matrix worden gegeven:

- Gezien de SSG aan de kust in een golfbreker wordt geplaatst in de nabijheid van een haven vervallen de factoren afstand tot de kust en afstand tot de haven.
- Net als bij de Pelamis is de belangrijkste factor het geproduceerde vermogen.
- Gezien de SSG golfrichtingsafhankelijk is, zal naast het geproduceerde vermogen evenzeer de factor golfrichting van groot belang zijn. Een locatie kan namelijk beschikken over een grote hoeveelheid beschikbare golfenergie. Als echter de golfenergie over alle sectoren gelijk verdeeld is zal deze locatie slechter scoren dan een locatie waarvan de golfenergie slechts uit één bepaalde sector komt.
- De gridconnectie is in dit geval 3 maal minder belangrijk dan de golfrichtingsafhankelijkheid. De factor 3 wijst nogmaals op het feit van het belang van de

richtingen en op de ondergeschiktheid in dit geval van de afstand tot het grid. De kabelkost is effectief niet meer zo hoog, omdat een kabel op zee niet meer dient beschouwd te worden en omdat de kabelafstand op zich minder lang zal zijn als voor een toestel dat in zee wordt geplaatst.

- Ook de diepte wint aan belang. In vergelijking met de afstand tot de gridconnectie, wordt de diepte als “gematigd” belangrijker beschouwd. Het belang van de diepte is te wijten aan het effect van shoaling. Het ondiepwatereffect brengt namelijk een toename van het geproduceerde vermogen met zich mee (III.5.2.2).

Opnieuw dient vermeld dat de waarden in Tabel VI-8 richtwaarden zijn. De gewichten kunnen nu bepaald worden aan de hand van de methode beschreven onder §VI.1.3. Tabel VI-9 geeft het resultaat weer.

<b>Factor</b>	<b>Gewicht [-]</b>
Bodem	4
Grid	9
Diepte	15
Golfvermogen	41
Extreme omstandigheden	3
Golfrichtingsafhankelijkheid	21
Maanden	7
Som	100

**Tabel VI-9: Overzicht van de gewichten voor de SSG**

Uit Tabel VI-9 blijkt opnieuw het grote belang van het geproduceerde vermogen. Wanneer ook de golfrichtingsafhankelijkheid en de maandelijkse variatie van het golfvermogen onder de term golfvermogen worden gebracht dan volgt dat de locatie voor een percentage van 69% bepaald wordt door deze factor. De diepte speelt hier wel degelijk een belangrijker rol in tegenstelling tot bij gewichten bepaald onder §VI.1.

### **VI.3 Wave Dragon**

Gezien in de literatuur ook voor de Wave Dragon geen gewichten ter beschikking zijn, is dezelfde methode gehanteerd als voor de SSG in §VI.2. Er worden nu twee verschillende gewichtenreeksen opgesteld, een eerste voor een plaatsing in de nabijheid van een windmolenpark en een tweede voor een plaatsing binnen de 12-mijlszone (Tabel VI-10).

	<b>Nabij windmolenpark</b>	<b>Binnen 12-mijlszone</b>
<b>Factor</b>	<b>Gewicht [-]</b>	<b>Gewicht [-]</b>
Bodem	5	4
Kust	-	10
Haven	13	10
Grid	-	10
Diepte	5	4
Golfhoogte	18	14
Golfperiode	18	14
Extreme omstandigheden	21	19
Golfrichtingsafhankelijkheid	7	5
Maandelijkse variatie	13	10
Som	100	100

**Tabel VI-10: Overzicht van de gewichten voor de Wave Dragon**

De waarden in Tabel VI-10 zijn schattingen en bieden een eerste indicatie voor het belang van iedere factor.

Enkele waarden worden nader verklaard. De redeneringen gelden zowel voor een plaatsing in de nabijheid van een windmolenpark als voor een plaatsing binnen de 12-mijlszone.

- Eerst dient opgemerkt dat het golfvermogen van de Wave Dragon wordt voorgesteld door de combinatie golfhoogte en golfperiode.
- De gewichten liggen minder sterk uit elkaar of anders gezegd, de factoren scoren vrij gelijkmatig op het vlak van belangrijkheid. Waar bij de Pelamis en de SSG de productie de “extreem” belangrijkste factor was, is bij het schaalmodel de zeer grote productie niet het doel op zich. Het is nog steeds de belangrijkste factor, zij het in mindere mate.
- De factor extreme omstandigheden is de tweede belangrijkste factor (na de combinatie golfhoogte - golfperiode). Deze veronderstelling berust op het feit dat het om een schaalmodel gaat en extreme omstandigheden absoluut vermeden moeten te worden. Schade aan het toestel veroorzaakt o.a. een enorme vertraging op de geplande deadlines voor onderzoeksresultaten.
- Verder wordt voor een park binnen de 12-mijlszone aan de factoren afstand tot de kust, afstand tot de haven en afstand tot het grid een grote mate van belangrijkheid toegekend. Hier bestaan twee redenen voor. Enerzijds dienen bij een onderzoeksproject de kosten gedrukt te worden. Als een toestel ver in zee gelegd wordt, impliceert dit een enorme kabelkost (afstand tot kust / grid). Anderzijds is het aan te raden dat het toestel zich op een geringe afstand van de kust / haven bevindt om snel te kunnen ingrijpen bij problemen zoals een defect.

- Bij de plaatsing van een park in de nabijheid van een windmolenpark, vallen de factoren afstand tot de kust en afstand tot het grid weg aangezien de kabel wordt aangesloten op het windmolenpark. Enkel de factor afstand tot de haven is dan nog van belang.
- Aan de maandelijkse variatie van het golfvermogen wordt ook een grote mate van belangrijkheid toegekend. Er wordt immers geprobeerd om de situatie van een latere exploitatie na te bootsen, waar de gelijkmatigheid van de energie-output van groot belang zal zijn.
- De studie bekijkt slechts één toestel van vrij geringe afmetingen waardoor de bodem weinig belangrijk geacht wordt.
- Ook de golfrichtingsafhankelijkheid wordt geacht van minder belang te zijn, gezien gezocht wordt naar een eerder gelijkmatig en regelmatig golfklimaat.

# Hoofdstuk VII: Locatiebepaling

De bepaling van een geschikte locatie voor een park van golfenergieconvertoren of voor één golfenergieconvector afzonderlijk is een typisch GIS-probleem. Nobre A. *et al.* beschrijft algemeen de locatiekeuze met behulp van GIS voor een golfenergieconvectorpark in een studiegebied gelegen tussen kaap Espichel en kaap Sardao (i.e. de zuidwestkust van Portugal) [57]. De methodologie die er wordt uiteengezet is algemeen en geldt niet voor een bepaald type toestel. Een verfijning van de GIS-analyse m.b.t. tot één specifiek aspect van een golfenergieconvectorpark wordt vermeld in [51]. Prest R. *et al.* bepaalt namelijk de optimale kabelroute voor een golfenergieconvectorpark rekening houdend met de bestaande beperkingen [51]. Het studiegebied is in dit geval gelegen in Zuid-Australië.

Naast een implementatie van GIS in golfenergie wordt in [64] en [51] GIS aangewend voor andere hernieuwbare energiebronnen: windenergie, zonne-energie en biomassa. [64] beschrijft met de hulp van GIS de locatiebepaling van een windmolenpark in Salina (i.e. één van de Aeolische eilanden in Italië). De studie in Salina richt zich op een afweging tussen vier mogelijk locaties voor de exploitatie van windenergie. In [51] wordt het nut en de kracht van GIS beschreven voor de locatiebepaling van een windmolenpark in de Baltische Zee, meer bepaald in de regio Noord-Jutland in Denemarken. Tot slot, stelt Yue C.-D. *et al.* een model op voor de aanwending van hernieuwbare energiebronnen (i.e. zonne- en windenergie en biomassa) in de regio Chigu (Taiwan) [65].

## VII.1 ArcGIS

ArcGIS is een grafisch softwareprogramma, waarbij GIS staat voor Grafisch Informatie Systeem. Dit houdt in dat er gewerkt wordt met geografische objecten waar informatie aan gekoppeld is. Verschillende bewerkingen kunnen uitgevoerd worden op deze objecten zoals:

- Analyseren
- Presenteren
- Bewerken
- Opslaan
- Beheren

Er wordt in de scriptie gebruikgemaakt van de versie ArcGIS 9.2 van ESRI (Environmental Systems Research Institute). Er bestaan ook andere GIS pakketten zoals IDRISI, ENVI, FME, ... .

ArcGIS 9.2 bestaat uit een vijftal interfaces met elk hun eigen toepassingen:

- ArcCatalog
- ArcMap
- ArcReader
- ArcGlobe
- ArcScene

Slechts 2 van deze interfaces worden gebruikt bij de analyse, namelijk ArcCatalog en ArcMap.

### ***VII.1.1 ArcCatalog***

ArcCatalog is het beheersysteem van ArcGIS. Hier kunnen bestanden aangemaakt en verwijderd worden en mappen beheerd worden. Bij het aanmaken van een nieuw bestand dienen enkele belangrijke beslissingen genomen te worden [66]:

- Data formaat:
  - ◆ Shapefile
  - ◆ Geodatabase
  - ◆ Coverage
- Objecttype:
  - ◆ Punt
  - ◆ Lijn
  - ◆ Polygoon
- Welke attributen en hun datatype
- Ruimtelijke referentie (coördinatensysteem)

Deze beslissingen worden in §VII.1.1.1-§VII.1.1.4 in detail besproken.

#### ***VII.1.1.1 Data formaat***

##### **Shapefile**

Een shapefile kan enkel objecten van hetzelfde type bevatten: ofwel punten, ofwel lijnen, ofwel polygonen. Het is echter makkelijk uitwisselbaar en daarom veel gebruikt. Bij het opslaan worden meerdere bestanden aangemaakt, allen even noodzakelijk:

- Een \*.shp dat de ligging van de objecten bevat
- Een \*.shx dat de index voor elk object in het \*.shp bestand bevat
- Een \*.dbf dat de attributeninformatie bevat (§VII.1.1.3)

Daarnaast kunnen nog optionele bestanden gemaakt worden:

- Een \*.sbn en \*.sbx bestand: hierin wordt de spatiale index opgeslagen

- Een \*.fbn en \*.fbx bestand dat de spatiale index voor read-only bestanden opslaat
- Een \*.ain en \*.aih dat de attributenindex opslaat van de actieve velden

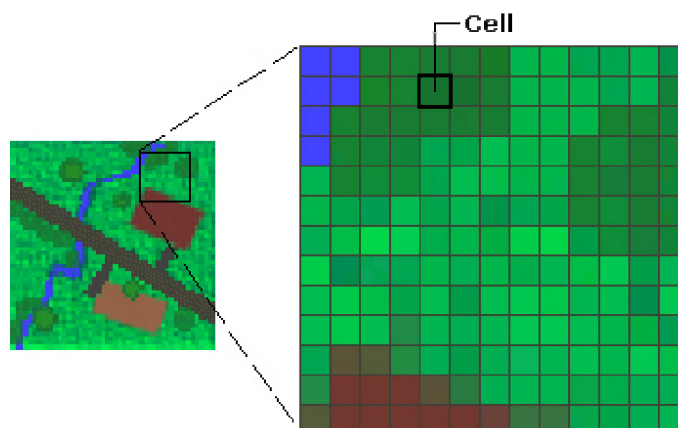
### Geodatabase

Een geodatabase is een nieuw ArcGIS formaat met als voordeel dat meerdere objecttypes gebruikt kunnen worden. Ook kunnen regels geformuleerd worden waaraan de data moeten voldoen. Dit dataformaat biedt aldus meerdere mogelijkheden. Het wordt opgeslagen als \*.mdb of \*.gdb.

### Coverage

Een iets ouder dataformaat waarin meerdere objecttypes gebruikt worden, is het coverage-formaat. Dit formaat wordt opgeslagen in een map.

In deze studie wordt met shapefiles gewerkt. Dit voornamelijk omwille van de gebruiksvriendelijkheid en de eenvoud van aanmaken en bewerken. Een ander voordeel van shapefiles is dat een externe database kan gekoppeld worden aan grafische objecten. Het voornaamste nadeel van shapefiles, namelijk de beperking tot één objecttype, vormt geen probleem bij deze studie. Per shapefile wordt immers slechts één beperking ingevoerd en de objecten van een beperking behoren steeds tot hetzelfde objecttype. Een ander nadeel verbonden aan shapefiles wordt vermeld in §VII.3.2.5: het is niet mogelijk om ingewikkelde formules in te voeren. Dit nadeel kan verholpen worden door te werken met rasterdata. De data worden dan opgeslagen en voorgesteld zoals weergegeven op Figuur VII-1. De analyse die is uitgewerkt in dit eindwerk, leent zich eerder tot het gebruik van rasters i.p.v. shapefiles. Het is omwille van de gebruiksvriendelijkheid dat toch gekozen is om te werken met shapefiles.



Figuur VII-1: Rasterdata [67]



### **VII.1.1.2 Objecttype**

Indien een shapefile aangemaakt wordt, dient beslist te worden welk objecttype het beste past bij de data die ingevoerd worden. Bij het aanduiden van meetboeien op een kaart, volstaat het om punten in te geven. Indien kabels getekend worden, is het best passende type een lijn. Tot slot kunnen ook polygonen ingegeven worden om bijvoorbeeld extractiezones aan te duiden.

### **VII.1.1.3 Attributen en datatype**

De objecten die gemaakt worden binnen een shapefile, kunnen vergezeld worden van attributen. Het is bijvoorbeeld interessant om de naam van de meetboeien te relateren aan een ingevoerd punt. Er wordt dan een kolomnaam "Naam" ingegeven met als bijpassende datatype "Text". Bij het datatype "Text" kan vervolgens ook een maximale lengte van de naam gedefinieerd worden. Hoe kleiner deze lengte, hoe minder informatie dient opgeslagen te worden. Er bestaan 6 verschillende datatypes, die verschillen in grootte van de in te voeren data, en bijgevolg een verschillend bereik hebben (Tabel VII-1):

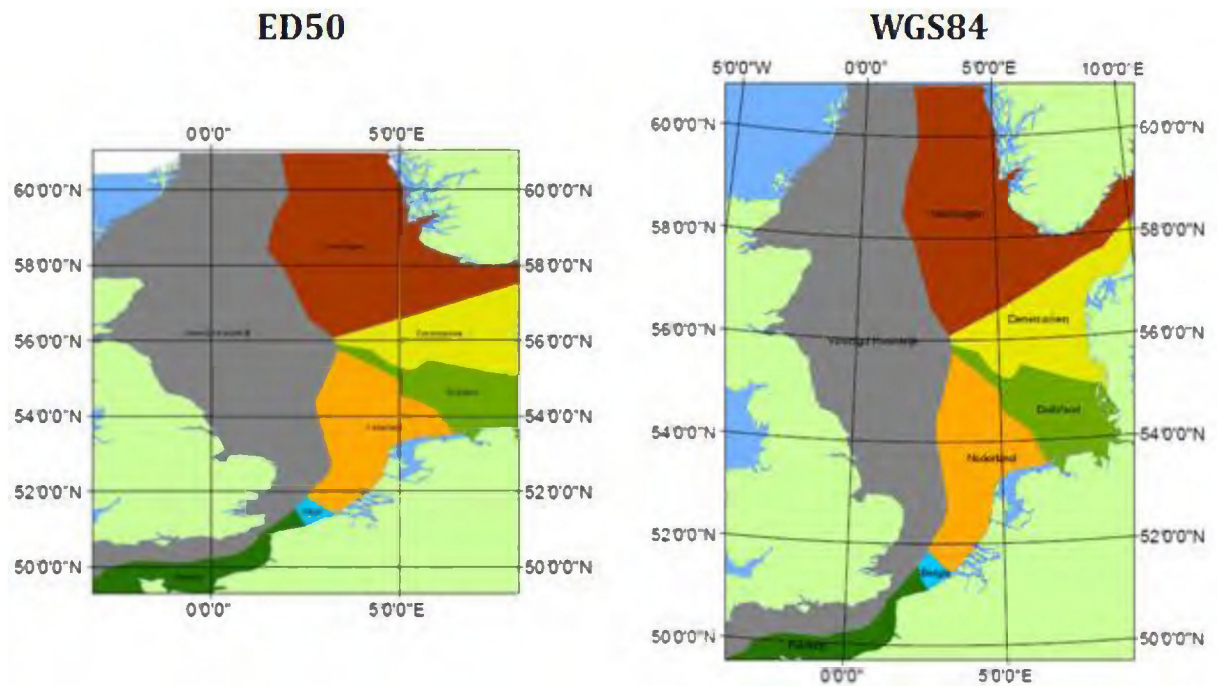
<b>Datatype</b>	<b>Grootte</b>	<b>Bereik</b>	<b>Beschrijving</b>
Short	2 bytes	+/-32,768	'Kleine' gehele getallen
Long	4 bytes	+/- 214 miljard	'Grote' gehele getallen
Float	4 bytes	-3,4E38 tot 1,2E38	6 plaatsen na de komma
Double	8 bytes	-2,2E308 tot 1,8E308	15 plaatsen na de komma
Datum	8 bytes	1 jan 100 tot 31 dec 9999	/
Text	1 byte per karakter	1 tot 255 karakters	/

**Tabel VII-1: Datatypes binnen ArcGIS**

### **VII.1.1.4 Ruimtelijke referentie**

Er bestaan enorm veel verschillende coördinatensystemen in de wereld. In België wordt vaak gebruikgemaakt van Lambert 1972 en Europees Datum 1950 (ED50), in Nederland daarentegen worden meestal Rijksdriehoekskoördinaten gebruikt, ook wel RD-coördinaten genoemd. Duitsland werkt dan weer met Gauss-Krüger. In Europa wordt vaak gewerkt met WGS84 (World Geodetic System 1984), het coördinatensysteem waarop ook GPS gebaseerd is. In principe maakt het niet veel verschil welk referentiesysteem gebruikt wordt, het is vooral belangrijk dat alle data in hetzelfde systeem geplaatst worden, eventueel na een transformatie.

Er zal gewerkt worden met WGS84. Dit systeem geeft immers een realistische weergave indien het geprojecteerd wordt op een 2-dimensionaal vlak zoals te zien is op Figuur VII-2.



Figuur VII-2: Vergelijking tussen de referentiesystemen ED50 (links) en WGS84 (rechts) [50]

### VII.1.1.5 Metadata

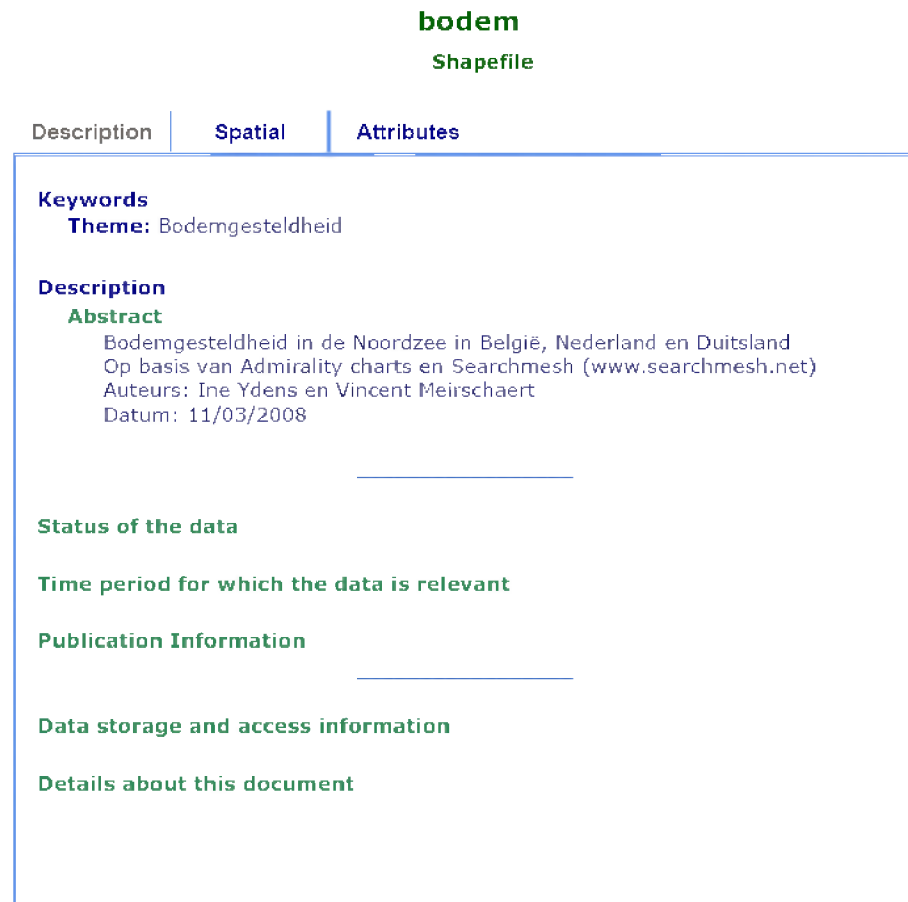
Aan elk nieuw bestand worden metadata toegekend. Metadata zijn gegevens omtrent het aanmaken van het nieuwe bestand, zoals:

- Het thema
- Een korte beschrijving
- De auteurs
- Datum van aanmaken
- Het coördinatensysteem

Dit zijn de basisgegevens die bij elk bestand worden ingevuld zodat elke nieuwe gebruiker weet welke informatie terug te vinden is in het bestand. Vaak wordt nog meer informatie toegevoegd aan de metadata:

- Status van de data
- Tijdsperiode waarover de data geldig zijn
- Publicatie informatie
- Kwaliteit van de data
- Details van het document
- ...

Een voorbeeld van metadata is voorgesteld op Figuur VII-3 voor de shapefile “bodem.shp” die gegevens bevat over de bodemgesteldheid in de Noordzee.



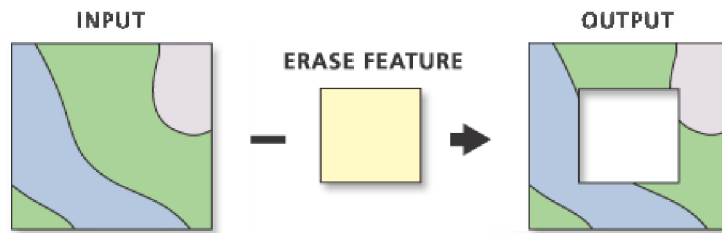
**Figuur VII-3: Metadata van het bestand “bodem”**

### ***VII.1.2 ArcMap***

Binnen ArcMap kunnen data aangemaakt en aangepast worden in een bestand. Met behulp van de Editor-toolbar worden punten, lijnen of polygonen getekend, naar gelang het datatype van de shapefile. De data kunnen eventueel nadien nog aangepast worden, zoals bijvoorbeeld het verplaatsen van een hoekpunt van een polygoon. Ook de attributentabel kan ingevuld en aangepast worden tijdens het edit-proces.

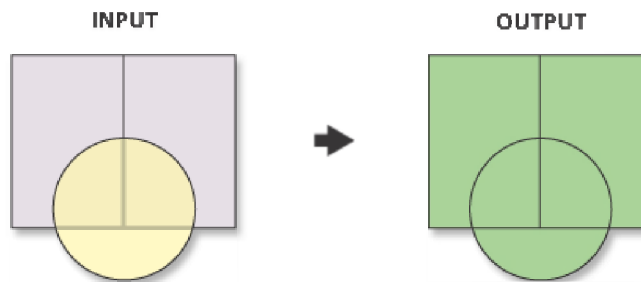
ArcMap bezit toolboxen die allerlei bewerkingen bevatten. Sommige toolboxen zijn slechts beschikbaar indien de juiste extra functionaliteit (extensie) ingeladen is. Voorbeelden van deze bewerkingen zijn:

- Erase: het ene gebied wordt van het andere gebied afgetrokken.



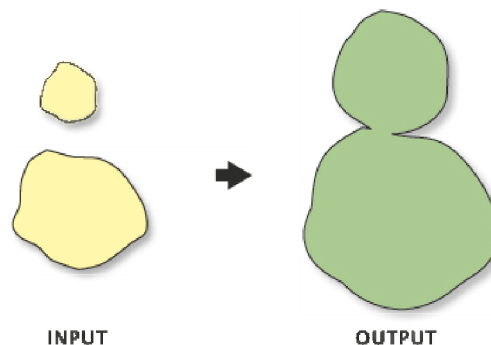
**Figuur VII-4: De bewerking "Erase"**

- Union: 2 of meer gebieden worden bij elkaar opgeteld.



**Figuur VII-5: De bewerking "Union"**

- Buffer: rond alle gebieden wordt een buffer getekend op een ingegeven afstand.



**Figuur VII-6: De bewerking "Buffer"**

Meestal is er de keuze om de attributentabel te behouden of niet. Bij het behouden van de attributentabel zullen de nieuwe gebieden dezelfde informatie bevatten als de oorspronkelijke gebieden.

## VII.2 Georefereren

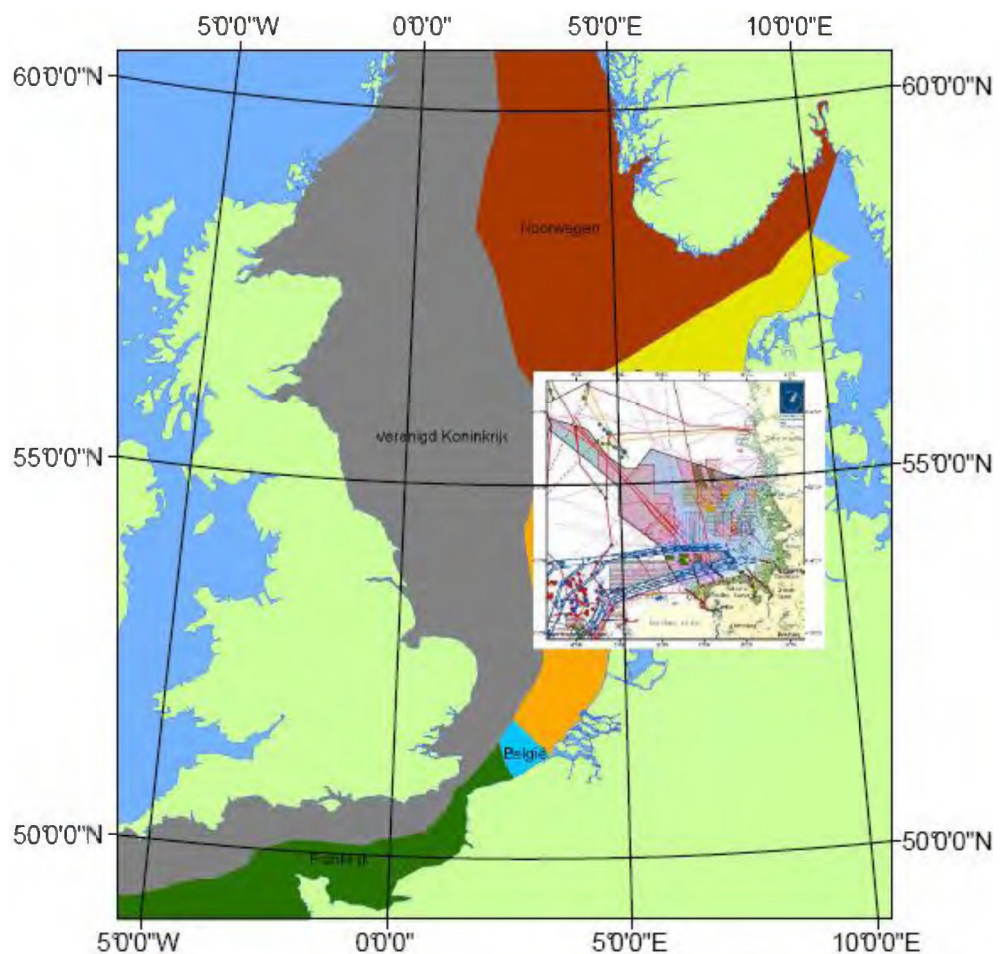
Er zijn slechts weinig data beschikbaar in een shapefile of een geodatabase met bijhorend referentiesysteem voor deze studie. Daardoor moeten de benodigde data eerst gedigitaliseerd worden vooraleer er bewerkingen op toegepast kunnen worden. Het georefereren van deze data kan hoofdzakelijk gebeuren op 2 manieren:

- Op basis van een figuur: digitaliseren
- Op basis van coördinaten

### ***VII.2.1 Een figuur als basis***

Op het internet en in boeken en tijdschriften zijn figuren te vinden waarop de nodige data zijn afgebeeld. Aan deze figuren is echter geen coördinatensysteem gelinkt zodat ArcGIS niet weet waar deze data zich juist bevinden. Het zal dus allereerst nodig zijn om de figuren te georefereren.

Er wordt gestart met een kaart die gelinkt is aan een referentiesysteem en die hetzelfde geografisch gebied omhelst als de te refereren figuren. Indien geen georeferende kaart beschikbaar is, kan gebruik gemaakt worden van een ArcIMS server. Zo wordt in dit eindwerk van de ArcIMS server 'www.noordzeeatlas.nl' gebruikgemaakt [50]. Deze website wordt als het ware ingeladen binnen ArcGIS zodat de kaarten van deze website te zien zijn. De website bevat voornamelijk informatie over de beperkingen die van toepassingen zijn op Nederland maar op de kaarten staat steeds de hele Noordzee afgebeeld zodat het mogelijk is deze te gebruiken bij het georefereren van alle figuren.

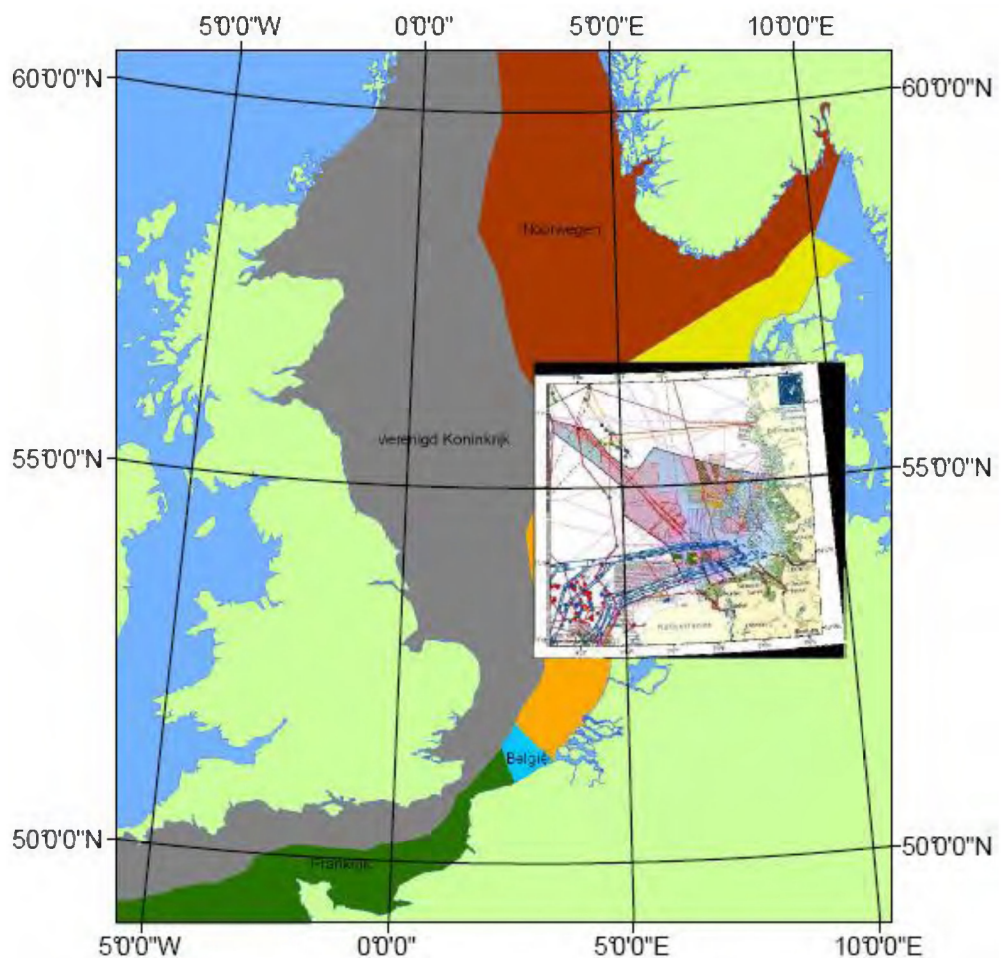


**Figuur VII-7: Georefereren: plaatsen van de te georefereren figuur**

Vervolgens kan de te refereren figuur ingeladen worden indien de figuur is opgeslagen als een \*.tif, een \*.jpg of een \*.bmp. De figuur wordt zo goed mogelijk over de geogerefererde kaart geplaatst, zoals te zien is op Figuur VII-7. Het betreft hier de gebruiksfuncties van het Duits Continentaal Plat die opgeslagen zijn in een \*.jpg bestand.

Het georefereren kan dan beginnen door duidelijke overeenkomstige locaties te verbinden als zijnde dezelfde plaatsen. Hoe beter deze referentiepunten gekozen worden, hoe nauwkeuriger de figuur zal passen op de geogerefererde kaart. Het zal nodig zijn minimaal 3 referentiepunten aan te duiden. Het eerste referentiepunt zorgt ervoor dat de figuur zich verplaatst tot dat punt juist ligt. Het tweede punt doet de figuur verkleinen of vergroten tot het ongeveer dezelfde grootte heeft als de referentiekaart. Het derde punt draait de figuur tot ze ongeveer overeenkomt met de referentiekaart. Meestal zal de figuur nauwkeuriger aansluiten indien meer dan 3 referentiepunten gekozen worden. Verder is het ook belangrijk om de referentiepunten zo ver mogelijk uit elkaar te kiezen zodat de kaart overal goed past.

Het vinden van referentiepunten is niet steeds eenvoudig. Zo gebeurt het vaak dat kustlijnen niet overeenkomen omwille van verschillende definities die gehanteerd werden bij het bepalen van de kustlijn.



**Figuur VII-8: Geogerefererde figuur met een 2<sup>de</sup> orde kromming**



Door de kromming van de aarde zal het nodig zijn om figuren met een breedte groter dan  $\pm 3^\circ$  oosterlengte of westerlengte te transformeren met behulp van een 2<sup>de</sup> orde polynomiaal i.p.v. met een 1<sup>e</sup> orde polynomiaal. De geogerefererde figuur kan vervolgens opgeslagen worden met het bijhorende coördinatensysteem (Figuur VII-8).

Er moet steeds bedacht worden wat de nauwkeurigheid van een bestand is. Afhankelijk van de kwaliteit van de te refereren figuur en van de referentiepunten is de figuur goed of minder goed gelegen zodat ook de latere berekeningen al dan niet nauwkeurig zijn. Zo geeft ArcGIS bij het georefereren een residuele fout bij elk referentiepunt en een totale RMS fout van alle referentiepunten op. Hoe kleiner deze fout, hoe nauwkeuriger de kaart gelegen is.

### VII.2.2 Coördinaten als basis

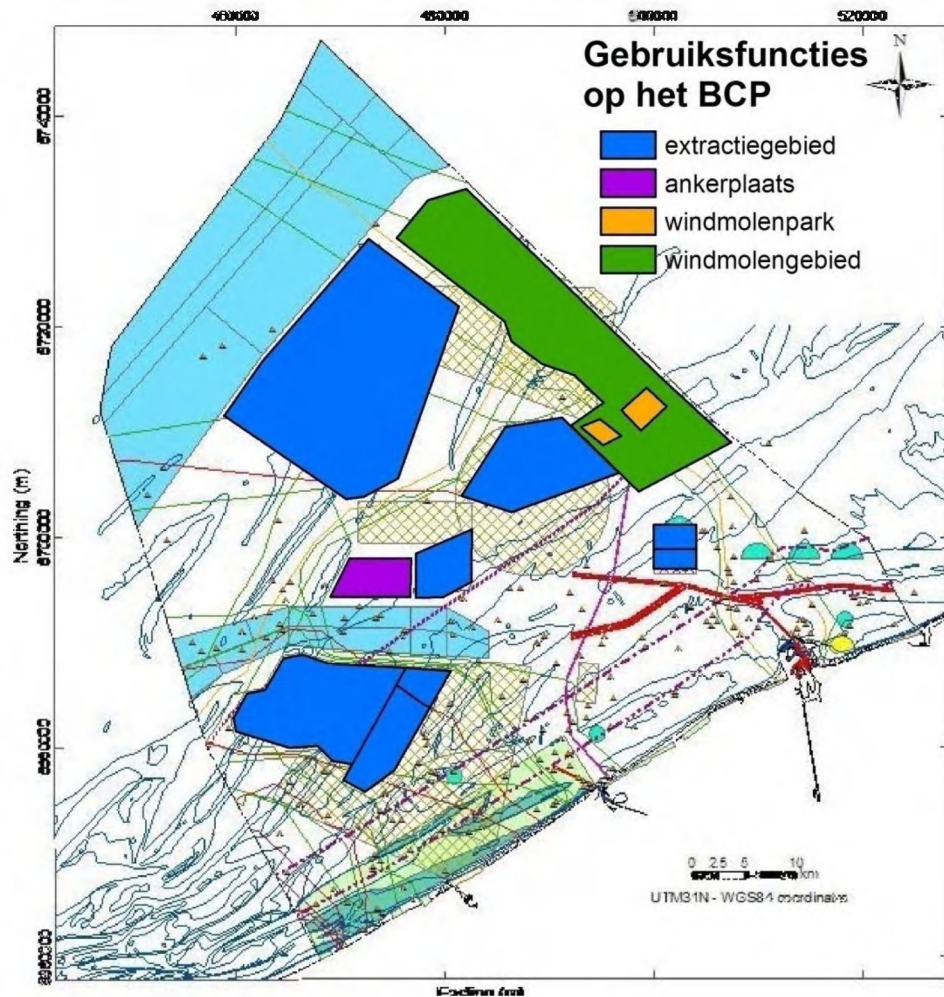
Soms zijn exacte coördinaten gekend van de nodige data zoals voor meetboeien of havens. In dat geval kunnen deze coördinaten ingegeven worden in een exceltabel waarna deze tabel rechtstreeks wordt ingevoerd in ArcGIS. Het bijhorende referentiesysteem dient ingevuld te worden zodat de data kan weergegeven worden op de juiste plaats.

Figuur III-1 toont de verschillende meetboeien in de Noordzee op het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat, die gebaseerd zijn op de coördinaten weergegeven in Tabel VII-2.

Naam	WGS84 N	WGS84 O	Naam	WGS84 N	WGS84 O
Westhinder	51,38667	2,44778	MPN	52,27389	4,29611
ZW-Akkaert	51,39139	2,80333	SON	53,59556	6,16667
Trapegeer	51,13750	2,58306	SWB	51,74667	3,30667
Oostende	51,24278	2,92056	YM6	52,55000	4,05833
Wandelaar	51,39222	3,05056	Fino-Borkumriff	53,78167	6,33500
Bol van Heist	51,39028	3,19528	Helgoland	54,15750	7,89417
ELD	53,27694	4,66167	Nordseeboje NSB II	55,00000	6,33333
EUR	51,99861	3,27639	Westerland	55,00000	7,90333
K13	53,21778	3,22028	SCW	51,39222	3,04917
LEG	51,92583	3,66972			

**Tabel VII-2: Coördinaten in geografisch WGS84 van de meetboeien van België, Nederland en Duitsland**

### VII.2.3 Digitaliseren



**Figuur VII-9: Beperkingen op het Belgische Continentaal Plat**

Wanneer aan alle figuren een referentiestelsel toegekend is, kan overgegaan worden tot het creëren van shapefiles. Dit gebeurt eenvoudigweg door het overtekenen of digitaliseren van de figuren. Een voordeel hiervan is dat de data weergegeven op de figuur kan losgekoppeld worden en opgeslagen in verschillende bestanden. Een nadeel is de nauwkeurigheid van sommige figuren. Indien de figuur vrij wazig is, zal het tekenen niet erg nauwkeurig kunnen gebeuren met als gevolg dat het resultaat slechts als een benadering kan gezien worden. In deze analyse, namelijk de zoektocht naar een geschikte locatie, zal de nauwkeurigheid niet zo belangrijk zijn. Dit voornamelijk omdat een vrij groot gebied bestudeerd wordt waarbij het geen probleem is dat een beperking slechts op 100m nauwkeurig wordt getekend. Op Figuur VII-9 zijn enkele getekende gebieden weergegeven waarbij opvalt dat deze duidelijker en vooral minder wazig te zien zijn.



## VII.3 Modellen

Binnen ArcGIS is het mogelijk een programma te schrijven, een model genaamd. Een model wordt opgebouwd met:

- Inputdata
- Bewerkingen
- Outputdata

Er wordt gestart met een inputkaart waarop een bewerking wordt uitgevoerd zodat een outputkaart gegenereerd wordt.

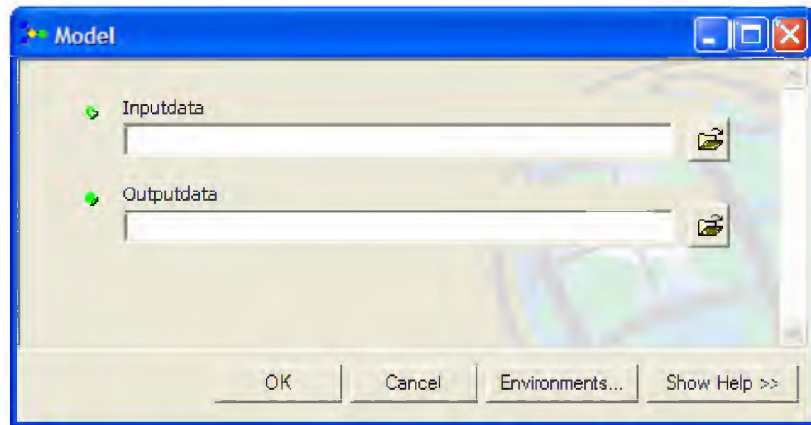


**Figuur VII-10: Opbouw van een model**

Het is vervolgens mogelijk om op deze outputkaart bewerkingen toe te passen. Ook kunnen op een kaart meerdere bewerkingen uitgevoerd worden.

De input- en outputdata kunnen één of meerdere statussen meekrijgen:

- Weergeven op het scherm (Add to display): als “Add to display” aangevinkt wordt, zal de kaart weergegeven worden op het scherm wanneer het model uitgevoerd wordt.
- Tussenresultaat (Intermediate): indien het niet noodzakelijk is om een outputkaart op te slaan omdat het slechts een tussenresultaat betreft, is dit mogelijk door “Intermediate” te selecteren.
- Model parameter: Vaak gebeurt het dat de inputdata, de outputdata of een gedeelte van de bewerking variabel zijn. In dat geval kan “Model parameter” aangevinkt worden zodat deze variabele te kiezen is in de gebruikersinterface. Figuur VII-11 toont een gebruikersinterface met 2 variabelen: de input- en outputdata.



**Figuur VII-11: Gebruikersinterface met als variabele: input- en outputdata**

Er zullen 2 modellen opgesteld worden: een eerste om een totaalkaart te creëren van de beperkingen en een tweede model om de toelaatbare gebieden een totaalscore mee te geven.

### ***VII.3.1 Model van de beperkingen***

Als inputdata worden de beperkingen van de landen ingevoerd, zoals besproken in Hoofdstuk IV. De bewerkingen die gebruikt worden om dit model samen te stellen zijn als volgt: buffer, union, clip, erase, feature to polygon, calculate areas en merge. De uiteindelijke output is een kaart met alle toelaatbare gebieden.

#### ***VII.3.1.1 Buffer***

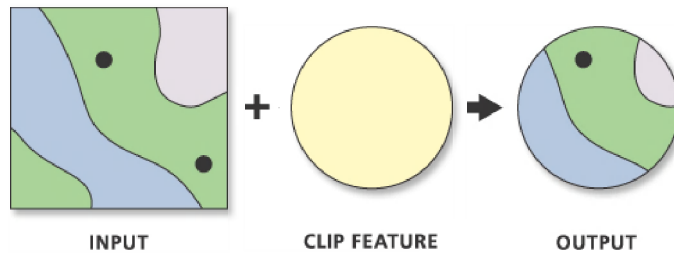
Zoals vermeld in Hoofdstuk IV vereisen enkele beperkingen een bufferzone rondom het gebied.

#### ***VII.3.1.2 Union***

Per land wordt een unie gemaakt van de beperkingen. Door een unie voor elk land te maken, is het mogelijk om de landen afzonderlijk te bestuderen in de verdere fazen.

#### ***VII.3.1.3 Clip***

Dit is een bewerking tussen 2 kaarten. De ene kaart geeft de inputdata en de andere kaart geeft de begrenzingen aan waarbinnen de inputdata gekend dient te zijn. Enkele kaarten met beperkingen bevatten informatie over verschillende landen terwijl de beperkingen per land gekend dienen te zijn. De grenzen van de continentale gebieden worden gebruikt als clip feature.



**Figuur VII-12: De bewerking "Clip"**

#### ***VII.3.1.4 Erase***

Tot hiertoe zijn er kaarten gemaakt die de ontoelaatbare gebieden voorstellen. Opdat nu enkel de toelaatbare gebieden zichtbaar zouden zijn, worden de ontoelaatbare gebieden afgetrokken van het continentale plat.

#### ***VII.3.1.5 Feature to polygon***

Het is interessant om van de overblijvende gebieden de oppervlakte te kennen. De gebieden vormen echter grotere gehelen en niet elke lijn die te zien is, is ook werkelijk een grens tussen 2 gebieden. Deze gehelen dienen dus eerst opgesplitst te worden in aparte gebieden m.b.v. de bewerking "Feature to polygon".

#### ***VII.3.1.6 Calculate areas***

De oppervlakte van elk gebied, hoe klein ook, wordt berekend.

#### ***VII.3.1.7 Merge***

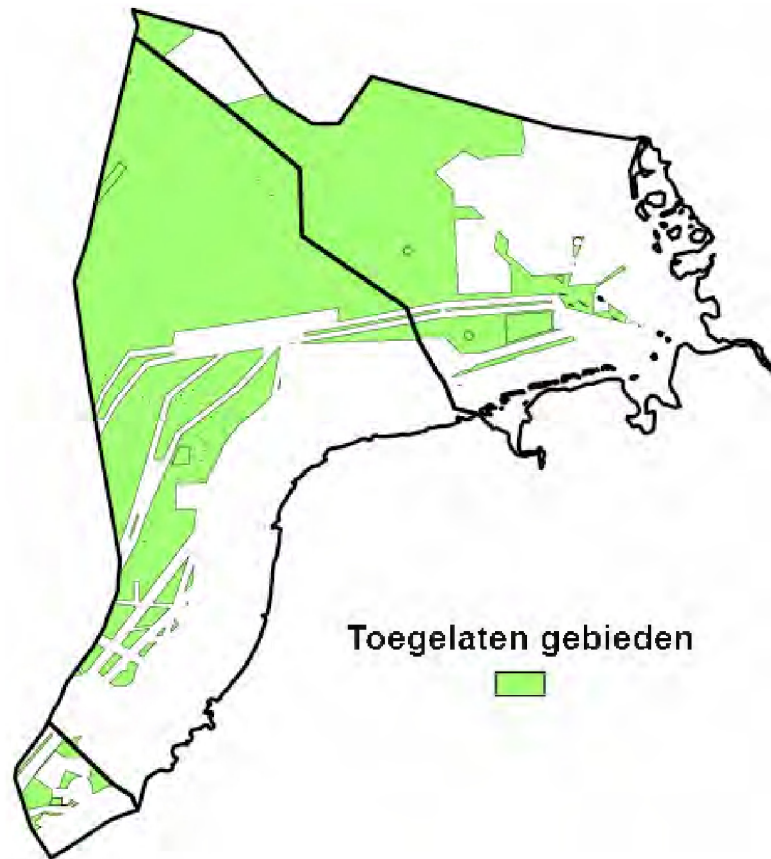
De kaarten van België, Nederland en Duitsland worden samengevoegd. Dit gebeurt met het commando "Merge" i.p.v. "Union" omdat de attribuentabellen dezelfde kolommen bevatten en alle overeenkomende kolommen samengevoegd worden tot één kolom en niet tot meerdere kolommen zoals het geval is bij "Union".

#### ***VII.3.1.8 Volledige model***

Het volledige model is weergegeven in Bijlage C.

#### ***VII.3.1.9 Resultaat***

Het resultaat van het model van de beperkingen voor de Pelamis is weergegeven op Figuur VII-13. Dit zijn de gebieden waarin de bouw van een park toegelaten is op het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat.



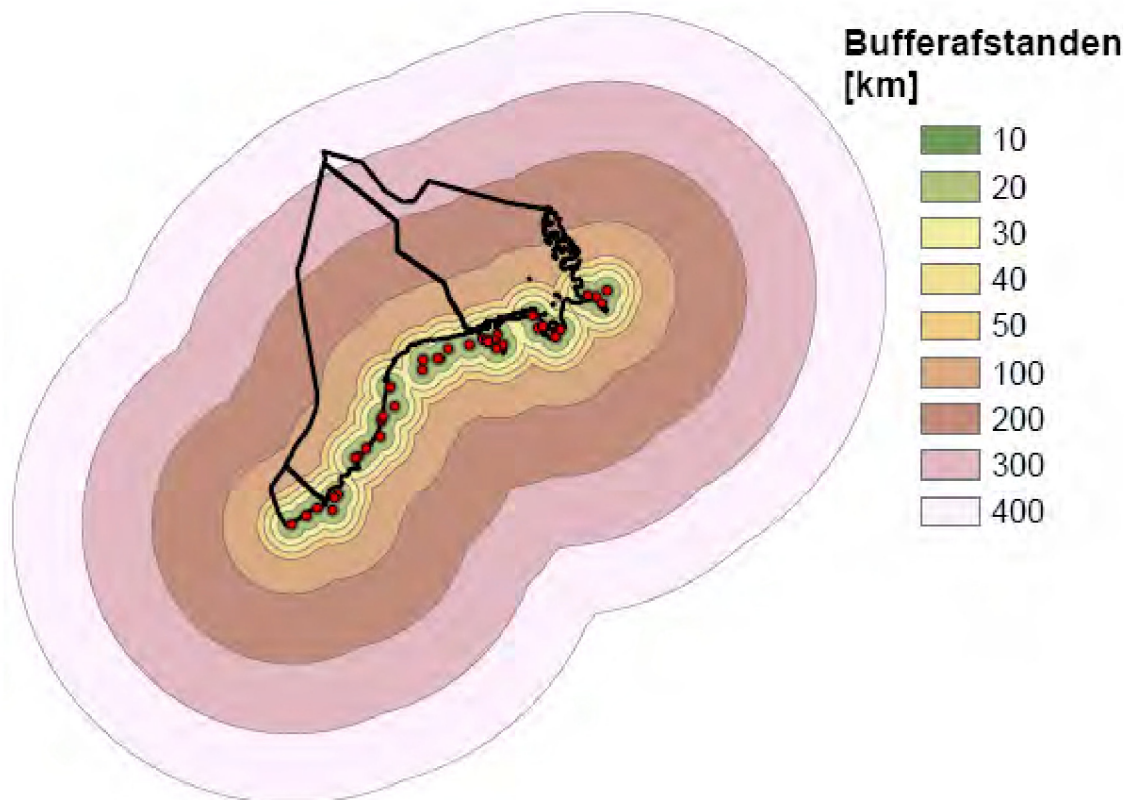
**Figuur VII-13: Toegelaten gebieden voor de Pelamis op het BCP, NCP en DCP**

### ***VII.3.2 Model van de factoren***

Na het uitvoeren van het model van de beperkingen zijn de gebieden gekend die in aanmerking komen voor de plaatsing van een golfenergieconvertorpark. Nu zal onderzocht worden welke gebieden het meest geschikt zijn als locatie van de toestellen. Zoals vermeld in Hoofdstuk V verschillen de factoren per toestel. Het model zal aldus verschillen per toestel maar de wijze van berekenen is vergelijkbaar en wordt besproken in deze paragraaf. Het resultaat van dit model is een kaart waarop de totaalscore van de gebieden is weergegeven.

#### ***VII.3.2.1 Multiple ring buffer***

In Hoofdstuk V zijn de bufferafstanden vermeld die per factor worden toegepast. Met het commando “Multiple ring buffer” is het mogelijk meerdere bufferafstanden in de geven. Figuur VII-14 geeft een voorbeeld van dit commando toegepast op de gridconnecties waarbij merkbaar is dat de buffers verschillende groottes hebben.

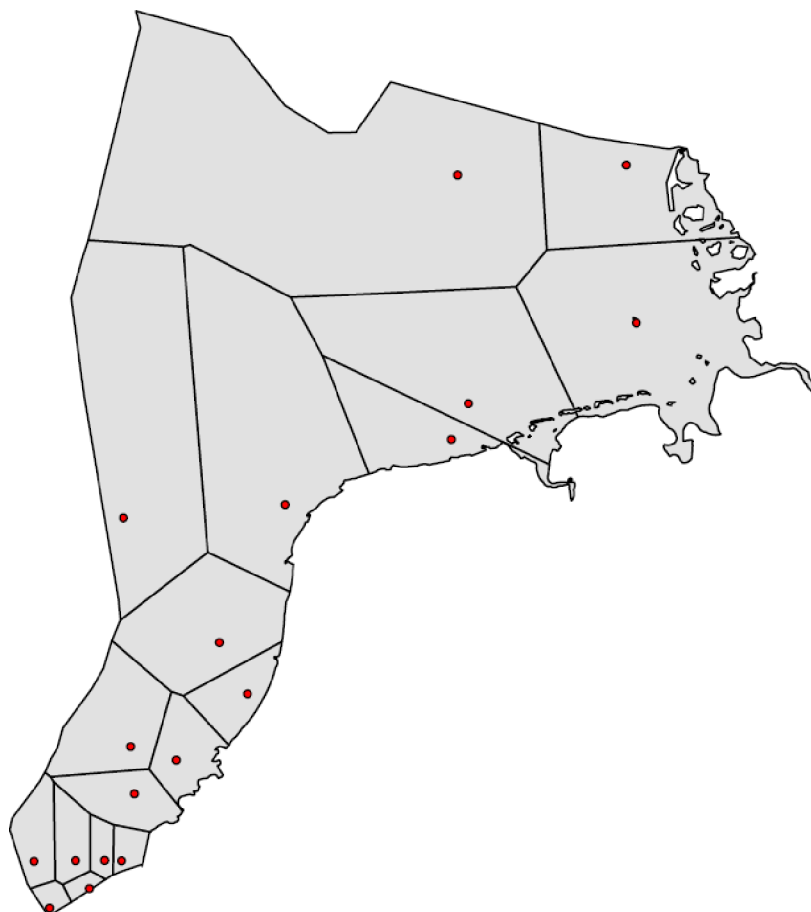


**Figuur VII-14: Het commando “Multiple buffer ring” toegepast op de gridconnecties**

### ***VII.3.2.2 Create thiessen polygons***

De meetboeien bevatten gegevens omtrent het beschikbare golfvermogen, de extreme omstandigheden, de golfrichtingsafhankelijkheid en de maandelijkse variatie. Deze data zijn toegekend aan individuele punten terwijl de analyse nood heeft aan polygonen. M.b.v. het commando “Create thiessen polygons” worden rond de meetboeien polygonen getekend die de attributen meekrijgen van de meetboeien. De grenzen van de thiessen polygonen vallen halverwege tussen 2 punten zoals te zien is op Figuur VII-15. Deze werkwijze is een benadering en geeft niet exact weer hoe het golfvermogen en de andere factoren verlopen op het BCP, NCP en DCP. Er is aldus nood aan meer nauwkeurigere gegevens.

In [57] wordt een interpolatie tussen de punten uitgevoerd. Deze methode zal waarschijnlijk een meer waarheidsgetrouw beeld scheppen, hoewel het ook niet perfect is. Het is mogelijk om te interpoleren indien met rasterdata gewerkt wordt.



**Figuur VII-15: Thiessen polygonen op basis van de meetboeien**

### ***VII.3.2.3 Delete field***

Indien een bestand gebruikt wordt waarop geen bufferbewerking wordt toegepast, zullen de kolommen die toegevoegd worden met “Add field” (§VII.3.2.4) in het oorspronkelijke bestand terecht komen. Voor de eerste uitvoering van het model vormt dit geen probleem maar wanneer het model een tweede keer dient uitgevoerd te worden, zullen foutmeldingen optreden omdat de kolomnamen reeds bestaan. Door deze kolommen eerst te verwijderen en vervolgens opnieuw toe te voegen, wordt de foutmelding en het vastlopen van het programma vermeden. Een nadeel verbonden aan deze oplossing is de complexiteit van het model en de doorlooptijd van de uitvoering.

### ***VII.3.2.4 Add field***

Per factor worden drie kolommen toegevoegd in de attribuentabel m.b.v. de bewerking “Add field”. In een eerste kolom wordt de score bijgehouden die hoort bij de verschillende gebieden. De tweede kolom bevat het gewicht voor de betreffende factor en de derde kolom zal de totaalscore voor deze factor bevatten.

### ***VII.3.2.5 Calculate field***

De nieuw aangemaakte kolommen zijn leeg en zullen een waarde toegewezen krijgen m.b.v. "Calculate field". Het gewicht is het eenvoudigste om in te geven, namelijk een geheel getal dat hetzelfde is voor alle gebieden. De score is gebaseerd op een wiskundige vergelijking die het verloop weergeeft in functie van de betreffende factor (bvb. afstand of beschikbare golfvermogen), zoals vermeld in Hoofdstuk V. Niet elk type vergelijking kan ingevoerd worden. Zo is het bijvoorbeeld niet mogelijk om trapfuncties in te geven, hoewel deze soms de meest geschikte vorm hebben voor de scoreverdeling. Zoals reeds vermeld in §VII.1.1.1 is dit wel mogelijk indien met rasterdata gewerkt wordt. De totaalscore wordt tot slot berekend als:

$$\text{totaalscore} = \text{score} \cdot \text{gewicht}$$

### ***VII.3.2.6 Union***

Alle factoren worden samengevoegd in één shapefile met een uitgebreide attribuentabel. Alle kolommen die gecreëerd werden bij "Add field" worden als afzonderlijke kolommen weergegeven in de nieuwe shapefile. Er zal vervolgens nog een nieuwe kolom bijgemaakt worden die de uiteindelijke totaalscore bevat van de gebieden. Deze nieuwe kolom wordt aldus berekend door de som te nemen van de totaalscores van de verschillende factoren.

### ***VII.3.2.7 Clip***

Aangezien verschillende factoren buiten de grenzen van het bestudeerde gebied vallen, wordt een "clip" toegepast. De "clip feature" is ditmaal het resultaat van het model van de beperkingen (VII.3.1).

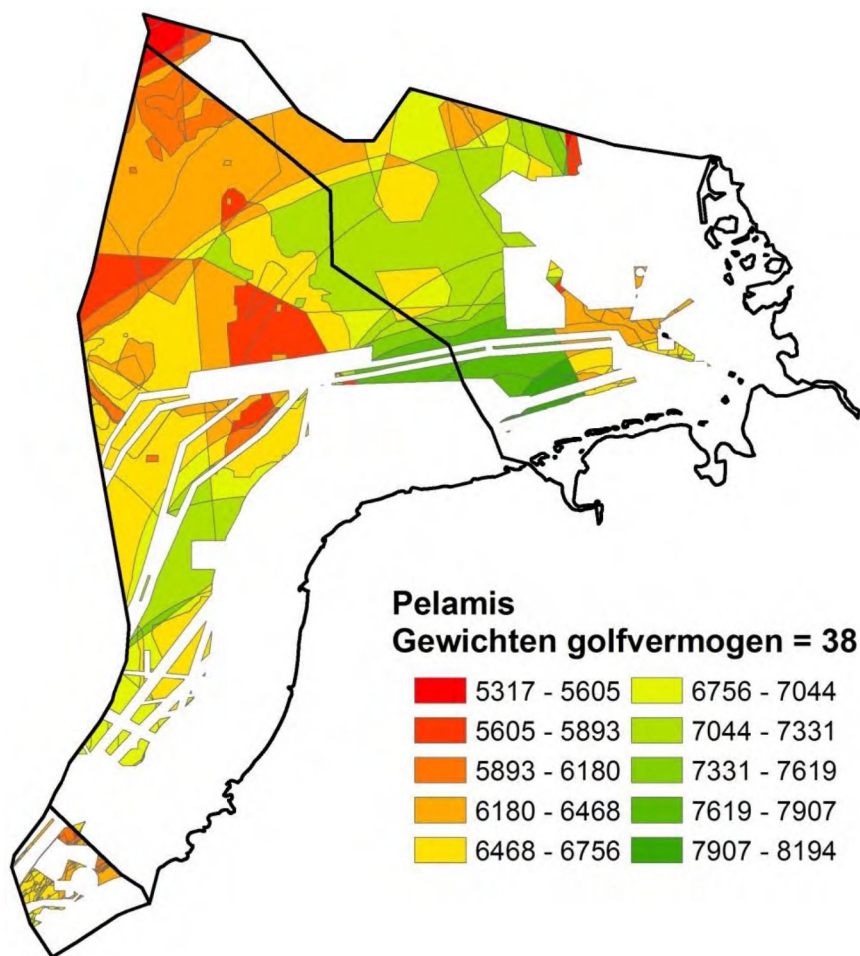
### ***VII.3.2.8 Volledige model***

Het volledige model is weergegeven in Bijlage C.

### ***VII.3.2.9 Resultaat***

De resultaten zullen verschillend zijn voor de drie toestellen. Figuur VII-16 toont de outputkaart van het model voor de Pelamis waarbij het gewicht van het geproduceerde vermogen gelijk gesteld is aan 38. Hoe groener het gebied en hoe hoger de totaalscore, hoe gunstiger als locatie voor een park.

Meer informatie over het praktische gebruik van ArcGIS staat beschreven in [68].



Figuur VII-16: Resultaat van de Pelamis met het gewicht van het golfvermogen = 38

## VII.4 Locatiebepaling van de Pelamis

Als eerste toestel wordt de Pelamis bestudeerd. Er wordt kort opgesomd welke beperkingen en factoren in rekening gebracht worden (§V.2). Vervolgens worden de resultaten van de verschillende gewichtenreeksen vermeld. Tot slot wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de factoren golfvermogen, afstand tot het grid en extreme omstandigheden.

### VII.4.1 Beperkingen

Alle beperkingen zoals besproken in Hoofdstuk IV worden ingevoerd in het model van de beperkingen. Ze worden hieronder nog eens opgesomd. Het resultaat van het model is weergegeven op Figuur VII-13.

- Ramsar- en habitatgebieden
- Scheepvaartroutes
- Baggerzones



- Ankerplaatsen
- Zand- en grindextractiezones
- Schelpwingebieden
- Industriële Afvalsites
- Munitiezones
- Militaire Oefengebieden
- Platformen
- 12-mijlszone

### **VII.4.2 Factoren**

De factoren en de bijhorende gewichten en scores zijn vermeld in §V.2 en §VI.1. De gewichten worden nog eens herhaald in Tabel VII-3.

<b>Factor</b>	<b>Literatuur</b>	<b>Haalbaarheidsstudie</b>	<b>Eigen schatting</b>	<b>Gemiddelde</b>
Bodemgesteldheid	10	5	4	6
Afstand tot kust	10	11	14	12
Afstand tot haven	10	16	5	10
Afstand tot het grid	20	17	22	20
Diepte	-	4	3	2
Golfvermogen	40	34	40	38
Extreme omstandigheden	10	13	4	9
Maandelijkse variatie	-	-	8	3
<b>Som</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tabel VII-3: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis**

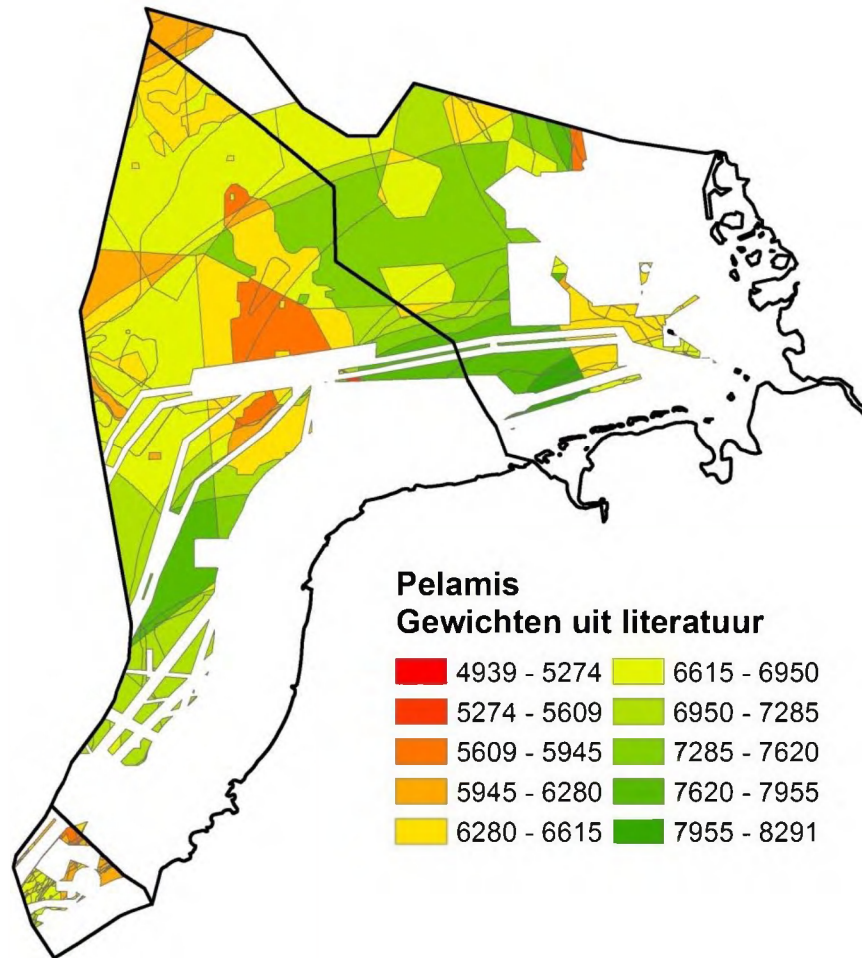
### **VII.4.3 Resultaat**

In §VI.1 worden drie gewichtenreeksen besproken. De eerste reeks is gebaseerd op de literatuur [57], de tweede reeks volgt uit de haalbaarheidsstudie uitgevoerd door Ampe A. [3] en de derde reeks is een eigen schatting (Tabel VII-3). De resultaatkaarten horende bij deze gewichtenreeksen worden besproken en vergeleken. De maximaal te behalen totaalscore bedraagt 10.000 aangezien de maximale score binnen een factor 100 bedraagt en de som van de gewichten gelijk is aan 100. Een maximale totaalscore van 10.000 kan m.a.w. behaald worden indien een gebied de score 100 toegekend krijgt voor alle factoren.

#### **VII.4.3.1 Literatuur**

De totaalscore bij toepassing van de gewichten vernoemd in [57], varieert tussen 4.939 en 8.291 (Figuur VII-17). De best scorende gebieden zijn op het DCP gelegen, aan de Nederlandse grens.

De oppervlakte van de 10 best scorende gebieden afzonderlijk is gelegen tussen 2.434 m<sup>2</sup> en 170 km<sup>2</sup>, de oppervlakte van deze gebieden samen bedraagt 455 km<sup>2</sup>.



**Figuur VII-17: Resultaat van de Pelamis op basis van de gewichten uit [57]**

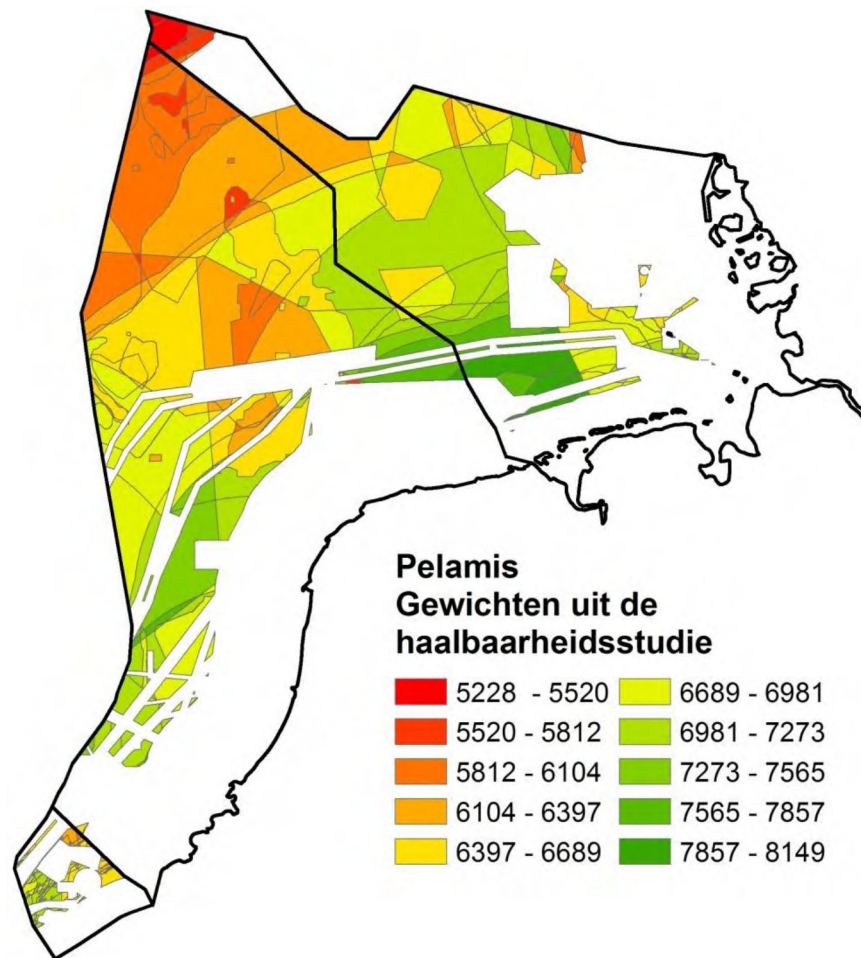
De best scorende gebieden zijn dicht bij de kust gelegen zodat de afstand tot de kust, tot het grid en tot de haven beperkt blijven. De gebieden op het Duits Continentaal Plat scoren over het algemeen goed, dit voornamelijk omwille van het hogere golfvermogen dat er beschikbaar is. Het Belgisch Continentaal Plat scoort slecht, met een maximale score van 6.962, en zal dus minder geschikt zijn voor de plaatsing van een golfenergieconverteerparc met Pelamissen. Het Nederlands Continentaal Plat beschikt over enkele interessante gebieden die een score behalen van 7.633 en 7.812.

De gebieden met het grootste beschikbare golfvermogen zijn ver in zee gelegen en, zoals te zien op Figuur VII-17, zijn deze niet noodzakelijk de best scorende gebieden. Het golfvermogen is dan wel de factor met het grootste gewicht maar de factoren afstand tot de kust, afstand tot het grid en afstand tot de haven hebben samen ook een belangrijke invloed. Het is aldus zoeken naar een evenwicht tussen de afstanden, het beschikbare golfvermogen en de andere factoren. Het dient benadrukt dat er gezocht wordt naar de locatie die economisch het meest interessant is. Dit komt er op neer dat de investeringskost, voornamelijk voorgesteld door de afstanden, zo laag

mogelijk wordt gehouden en de opbrengst of m.a.w. het beschikbare golfvermogen zo hoog mogelijk dient te zijn.

### VII.4.3.2 Scriptie Ampe A.

Indien de gewichten gebruikt worden die op basis van [3] bepaald zijn (Tabel VII-3), bedragen de totaalscores maximaal 8.149 en minimaal 5.228 (Figuur VII-18). De oppervlakte van de 10 best scorende gebieden is gelegen tussen 2.434 m<sup>2</sup> en 700 km<sup>2</sup> met een totaaloppervlakte van 1.226 km<sup>2</sup>. Deze gebieden zijn in dezelfde omgeving gelegen als de best scorende gebieden uit §VII.4.3.1.

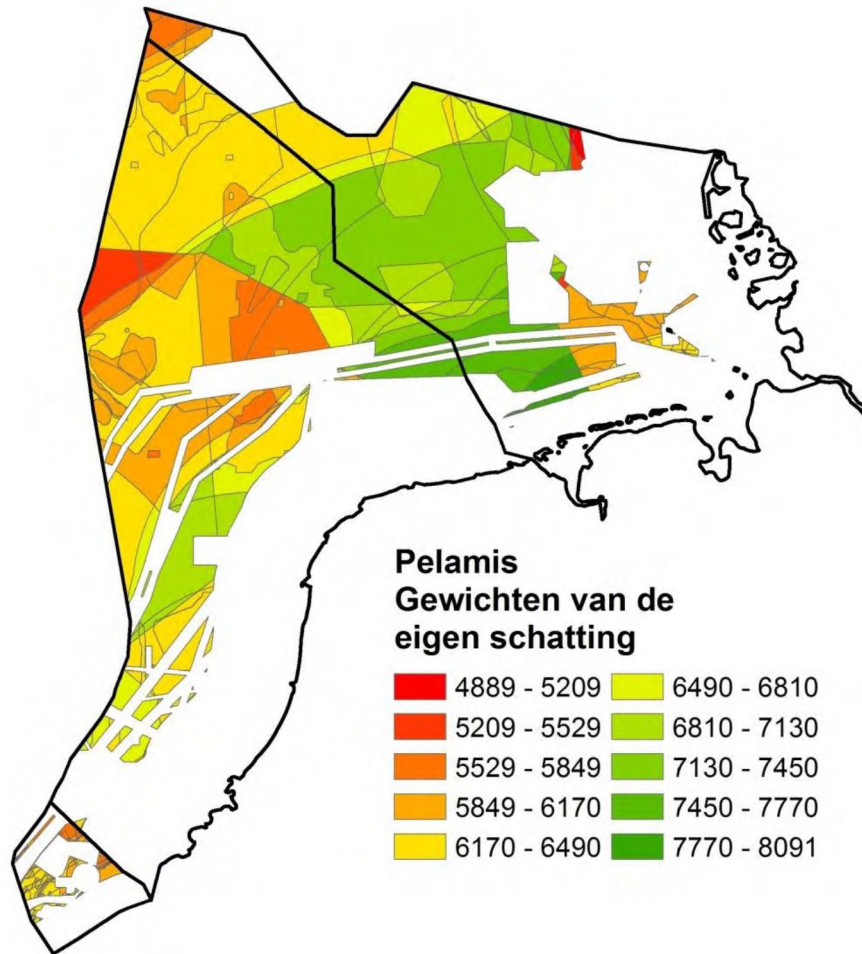


Figuur VII-18: Resultaat van de Pelamis op basis van de gewichten uit [3]

### VII.4.3.3 Eigen schatting

De gewichten die zelf berekend zijn, worden ingevoerd in het model in ArcGIS. Het resultaat is voorgesteld op Figuur VII-19. De grootte van de best scorende gebieden varieert tussen 2.434 m<sup>2</sup> en 170 km<sup>2</sup> met een totale oppervlakte van 455 km<sup>2</sup>. Ook deze gebieden komen qua

ligging overeen met de best scorende gebieden uit §VII.4.3.1 en §VII.4.3.2. De totaalscores op het BCP, het NCP en het DCP variëren tussen 4.889 en 8.091.



**Figuur VII-19: Resultaat van de Pelamis op basis van de zelf geschatte gewichten**

#### ***VII.4.4 Gevoeligheidsanalyse***

De gewichten die vermeld worden in Tabel VII-3 zijn een schatting. Het is interessant om de waarde van deze gewichten te laten variëren en te onderzoeken welke invloed deze variatie heeft op de locaties van de meest geschikte gebieden.

##### ***VII.4.4.1 Golfvermogen***

Het golfvermogen heeft het grootste gewicht, zowel volgens artikel [57], als volgens de haalbaarheidsstudie uitgevoerd in [3], als volgens de eigen schatting. Het is te verwachten dat de variatie van deze factor de grootste invloed zal hebben op de meest geschikte locaties.

De locaties van de meest geschikte gebieden zijn gelijkaardig in de drie besproken gevallen in §VII.4.3.1-VII.4.3.3. Daaruit kan afgeleid worden dat een kleine variatie in het gewicht van het

golfvermogen geen invloed heeft op de beste locaties. Vervolgens wordt onderzocht wat de invloed is indien het gewicht van het golfvermogen varieert zoals aangegeven in Tabel VII-4.

Variatie van het gewicht van de factor golfvermogen					
Factor	20	30	40	50	60
Bodem	8	7	6	5	4
Kust	15	14	11	10	8
Haven	13	11	10	8	6
Grid	26	23	19	16	13
Diepte	3	2	2	2	1
Golfvermogen	20	30	40	50	60
Extreme omstandigheden	11	10	9	7	6
Maandelijks variatie	4	3	3	2	2

Tabel VII-4: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor golfvermogen

De som van de gewichten moet steeds gelijk zijn aan 100. Indien het gewicht van het golfvermogen verhoogt, dienen de gewichten van de andere factoren een lagere waarde aan te nemen. Het bepalen van deze lagere waarden gebeurt zodanig dat de verhoudingen van de gewichten onderling gelijk blijven. De berekening kan geschieden met formule (VII-1) waarbij 'n' staat voor nieuw, 'o' staat voor oorspronkelijk en 'gew' staat voor gewicht. De formule is ook geldig wanneer het gewicht van het geproduceerde vermogen verlaagt en de gewichten van de andere factoren verhogen.

$$n_{gew_{criterium}} = o_{gew_{criterium}} \cdot \left( 1 - \frac{n_{gew_{golfvermogen}} - o_{gew_{golfvermogen}}}{100 - o_{gew_{golfvermogen}}} \right) \quad (VII-1)$$

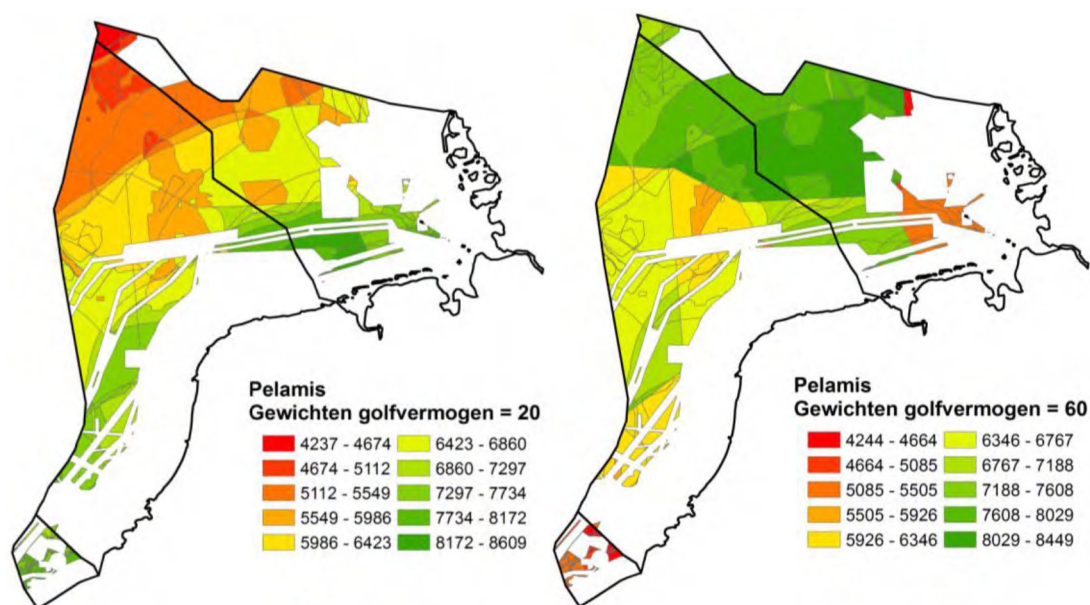
Tabel VII-5 toont de nummers van de 10 best scorende gebieden bij variatie van het gewicht van de factor golfvermogen. Hieruit kunnen enkele besluiten afgeleid worden:

- De 10 beste gebieden zijn gelijk bij een gewicht van 20, 30 en 40.
- Bij een gewicht van 50 en 60 zijn de eerste 4 locaties dezelfde, maar wel verschillend van de beste locaties bij een gewicht van 20, 30 en 40. Enkele van de volgende gebieden zijn gemeenschappelijk alhoewel er ook verschillen tussen zitten.
- Hoe hoger het gewicht van het golfvermogen, hoe verder de locaties van de kust zijn gelegen aangezien het golfvermogen daar hoger is.
- Indien het gewicht lager dan 40 is, is de meest geschikte locatie verschillend van de gebieden met het hoogste golfvermogen. Dit komt hoofdzakelijk doordat de som van de gewichten van de factoren afstand tot de kust, afstand tot het grid en afstand tot de haven groter of gelijk is aan het gewicht van het golfvermogen. De invloed van deze afstanden wordt dus groot zodat de locaties op korte afstand van de kust, met een redelijk hoog golfvermogen aantrekkelijk worden.

Meest geschikte locaties bij variërend gewicht van het golfvermogen					
Rangorde	20	30	40	50	60
1	134	134	134	130	130
2	133	133	133	205	205
3	135	135	135	206	206
4	138	138	138	131	131
5	136	136	136	208	132
6	139	139	139	134	208
7	137	137	137	132	207
8	140	140	140	133	209
9	141	141	141	135	242
10	142	142	142	207	252

Tabel VII-5: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van het golfvermogen

Algemeen kan besloten worden dat bij een gewicht gelegen tussen 40 en 50, de beste locaties veranderen. Bij een gewicht lager dan 40 zijn de meest locaties gelijk, bij een gewicht hoger dan 50 zijn de beste gebieden ongeveer gelijk. Het is dus niet belangrijk om het gewicht van de factor golfvermogen exact te kennen, het is voldoende om de grootteorde of m.a.w. het relatieve belang in vergelijking met de andere factoren juist in te schatten.



Figuur VII-20: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van het golfvermogen van 60 en 20

Het inschatten van het gewicht van de factor golfvermogen komt neer op het inschatten van de verwachte opbrengst. Indien een hoge elektriciteitsprijs en veel subsidies van toepassing zijn, zal de situatie met een gewicht gelijk aan 50 of 60 overeenkomen met de werkelijkheid. Staat de elektriciteitsprijs daarentegen laag en worden geen of weinig subsidies toegekend, zal een gewicht gelijk aan 20 of 30 de situatie het beste weergeven.



### VII.4.4.2 Afstand tot de gridconnectie

De tweede belangrijkste factor is afstand tot de gridconnectie, kortweg grid genoemd. Het gemiddelde gewicht van het grid bedraagt 20. Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op dit gewicht waarbij de waarden genomen worden zoals weergegeven in Tabel VII-6. De gewichten van de andere factoren worden aangepast zoals besproken onder §VII.4.4.1.

<b>Variatie van het gewicht van de factor afstand tot het grid</b>					
<b>Factor</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
Bodem	7	6	5	5	4
Kust	14	12	10	9	7
Haven	11	10	9	8	6
Grid	10	20	30	40	50
Diepte	2	2	2	1	1
Golfvermogen	43	38	33	28	24
Extreme omstandigheden	10	9	8	7	6
Maandelijkse variatie	3	3	3	2	2

**Tabel VII-6: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor grid**

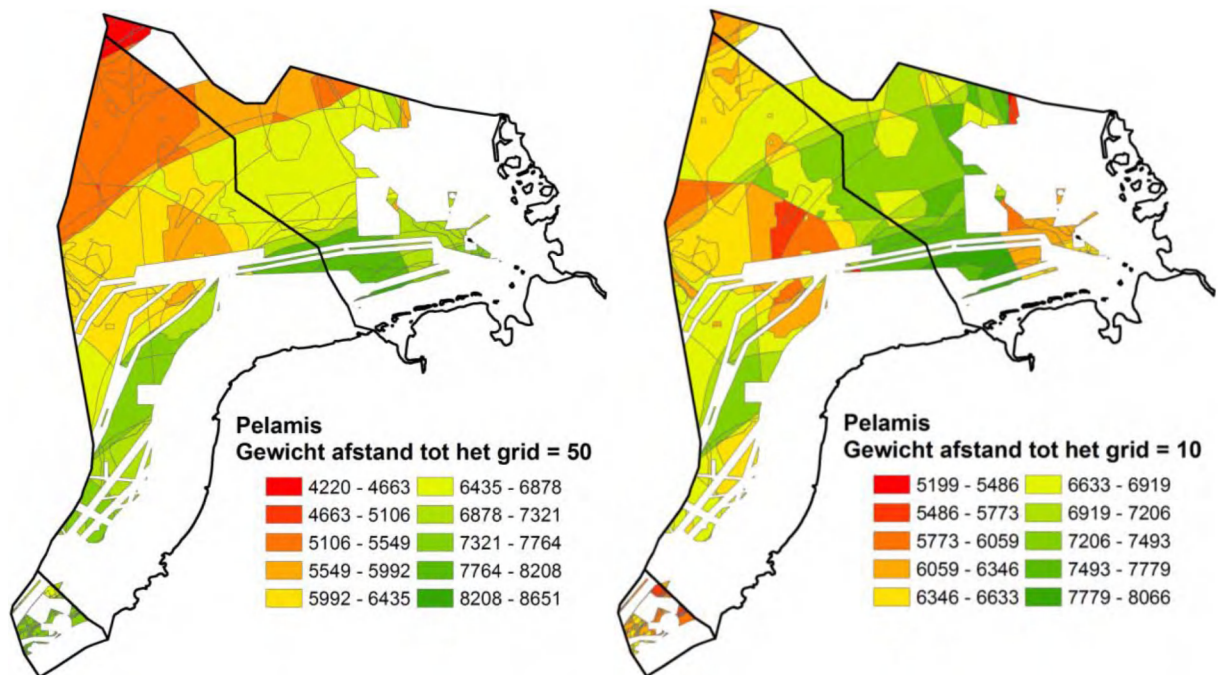
De nummers van de 10 best scorende locaties worden in volgorde opgesomd in Tabel VII-7. Opvallend is dat de meest geschikte gebieden bijna niet veranderen bij het variëren van de factor afstand tot het grid. Bij het bestuderen van de gebieden met rangorde 11 en hoger, zijn de meest geschikte plaatsen, bij de gewichten 40 en 50, degene die dicht bij een gridconnectie gelegen zijn.

<b>Meest geschikte locaties bij variërend gewicht van de afstand tot het grid</b>					
<b>Rangorde</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
1	133	134	134	134	134
2	134	133	133	133	133
3	135	135	135	135	135
4	138	138	138	138	138
5	136	136	136	136	136
6	139	139	139	139	139
7	137	137	137	137	137
8	140	140	140	140	140
9	130	141	141	141	141
10	141	142	142	142	121

**Tabel VII-7: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van het grid**

Als de som wordt genomen van de gewichten van de factoren die gerelateerd zijn aan een afstand, nl. afstand tot de kust, afstand tot de haven en afstand tot het grid, dan wordt een duidelijke stijging waargenomen. Deze som is gelijk aan 35 wanneer het gewicht van het grid 10 is. In de situatie waarbij het gewicht van het grid 50 is, bedraagt de som reeds 63 terwijl het

gewicht van het golfvermogen gedaald is tot 24. De invloed van de afstand vergroot zodat logischerwijs de locaties dicht bij de kust en vooral dicht bij een gridconnectie aantrekkelijk worden.



Figuur VII-21: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van het grid van 50 en 10

#### VII.4.4.3 Extreme omstandigheden

Een derde en laatste gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd op het gewicht van de extreme omstandigheden. In het basisgeval heeft deze factor een gewicht van 9. Dit is duidelijk niet de factor met het derde grootste gewicht maar er wordt aangenomen dat de variatie van de factoren afstand tot de kust en afstand tot de haven, gelijkaardig zijn aan de variatie van het grid.

Tabel VII-8 toont de gewichtenreeksen die gehanteerd zijn bij de variatie van het gewicht van de factor extreme omstandigheden. De nummers van de 10 best scorende locaties worden in volgorde opgesomd in Tabel VII-9. Indien het gewicht van de factor gelijk is aan 0, wordt er geen rekening gehouden met extreme omstandigheden. De meest geschikte gebieden worden dan voornamelijk gekozen op basis van de factor van het golfvermogen en op basis van de factoren gerelateerd aan de afstanden. Wanneer het gewicht gelijk is aan 10 of hoger zijn exact dezelfde gebieden de meest interessante locaties voor de bouw van een golfenergieconvertorpark van Pelamissen.

Des te hoger het gewicht van de extreme omstandigheden wordt, des te meer de locaties met een rustigere klimaat geschikt zijn. Deze rustigere gebieden bevinden zich meestal in de buurt van de kust. Het aandeel van de factoren die een korte afstand tot de kust een hoge score toekennen, stijgt zodat locaties dicht bij de kust een hoge totaalscore krijgen.

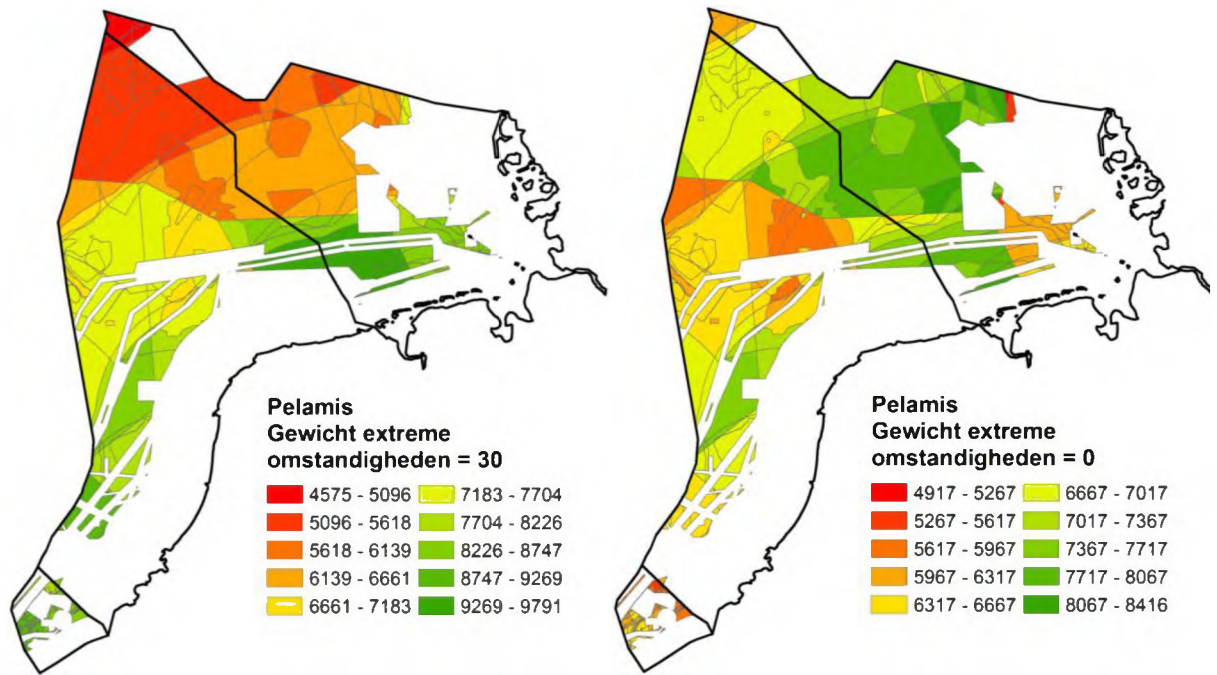


<b>Variatie van het gewicht van de factor extreme omstandigheden</b>				
<b>Factor</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
Bodem	7	6	5	5
Kust	13	12	10	9
Haven	11	10	9	8
Grid	22	20	18	15
Diepte	2	2	2	2
Golfvermogen	42	37	33	29
Extreme omstandigheden	0	10	20	30
Maandelijkse variatie	3	3	3	2

**Tabel VII-8: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor extreme omstandigheden**

<b>Meest geschikte locaties bij variërend gewicht van de extreme omstandigheden</b>				
<b>Rangorde</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
1	130	134	134	134
2	205	133	133	133
3	206	135	135	135
4	131	138	138	138
5	134	136	136	136
6	133	139	139	139
7	132	137	137	137
8	208	140	140	140
9	135	141	141	141
10	138	142	142	142

**Tabel VII-9: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van de extreme omstandigheden**



**Figuur VII-22: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van de extreme omstandigheden van 30 en 0**

#### ***VII.4.4.4 Algemene trend***

Na het uitvoeren en bestuderen van de gevoeligheidsanalyse toegepast op de factoren golfvermogen, afstand tot het grid en extreme omstandigheden, kunnen volgende trends waargenomen worden:

- Er zijn verschillende factoren die een korte afstand tot de kust een globale hoge score toekennen, nl. afstand tot de kust, afstand tot het grid, afstand tot de haven, extreme omstandigheden en variatie van de maanden.
- Enkel de factor golfvermogen zorgt ervoor dat gebieden ver in zee interessant zijn voor de locatie van een park.
- De verhouding van het golfvermogen tot de factoren die een korte afstand tot de kust verkiezen blijkt een indicatie te geven over de locatie van de meest geschikte gebieden. Indien deze verhouding kleiner is dan 0,7 à 0,75 en het aandeel van de afstandsfactoren aldus groot wordt, zijn de meest geschikte gebieden dicht bij de kust gelegen. Wanneer deze verhouding stijgt, worden de gebieden met een hoog beschikbaar golfvermogen interessanter en is de afstand tot de kust minder doorslaggevend.
- Bij een verhouding kleiner dan 0,7 à 0,75, is de kustzone geschikt. De best scorende locatie zal dan degene zijn die op korte afstand van de kust gelegen is en een relatief hoog beschikbaar golfvermogen bezit.

### VII.4.5 Gekozen locatie

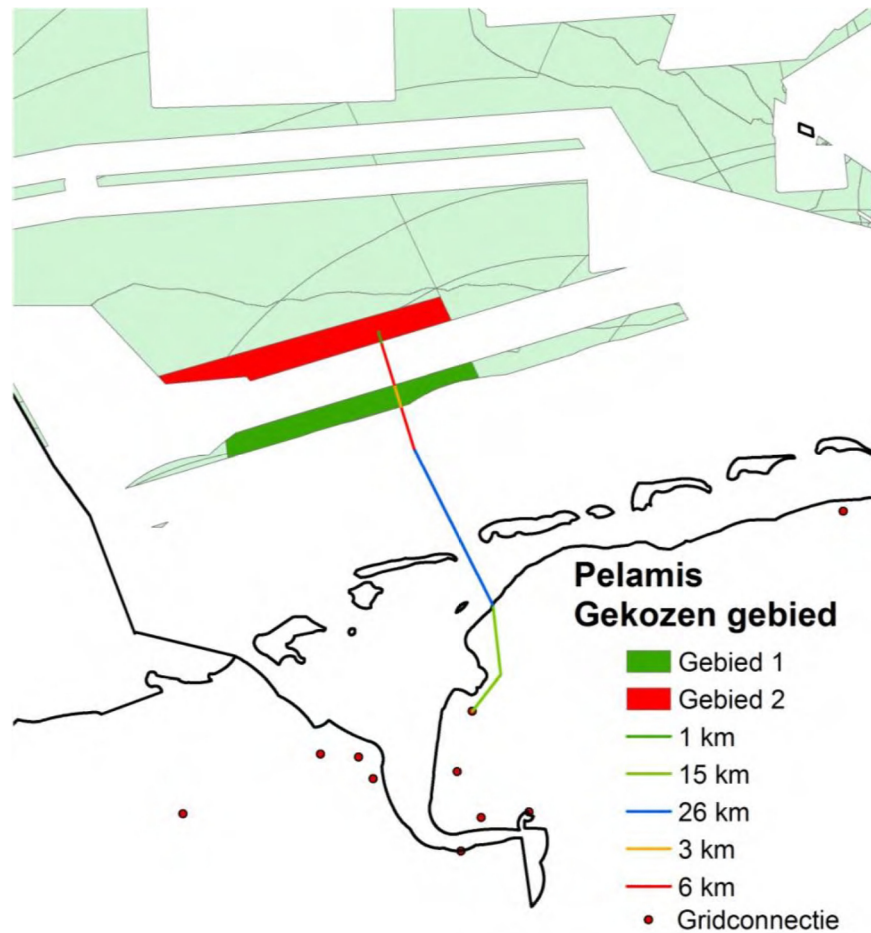
Uit de gevoeligheidsanalyse en bij toepassing van de gemiddelde gewichtenreeks, blijkt duidelijk dat het gebied met het nummer 134 het meest geschikt is als locatie voor een golfenergieconvertoorpark voor Pelamissen. De oppervlakte van dit gebied bedraagt slechts 0,52 km<sup>2</sup>, terwijl de gebieden met nummers 133, 135 en 138 respectievelijk een oppervlakte hebben van 30 km<sup>2</sup>, 71 km<sup>2</sup> en 23 km<sup>2</sup>. Daarenboven zijn de gebieden 133, 135 en 138 vlak naast elkaar gelegen zodat een totale oppervlakte ontstaat van 124 km<sup>2</sup>. Er wordt aldus gekozen voor de gebieden 133, 135 en 138. Figuur VII-23 toont de langwerpige vorm van de gekozen locatie die ideaal is voor een park van Pelamissen (gebied 1). Op deze manier kunnen immers veel toestellen naast elkaar gelegd worden en is er minder noodzaak aan verschillende rijen waarbij diffractie optreedt (§III.5.1).

Factor	Score [-]	Kenmerken
Bodem	100,000	Zand
Kust	95,918	32 km
Haven	88,889	60 km
Grid	91,837	42 km
Diepte	35,491	-25 m
Golfvermogen	66,912	113,32 kW
Extreme omstandigheden	90,909	6,75
Maandelijkse variatie	90,000	0,9

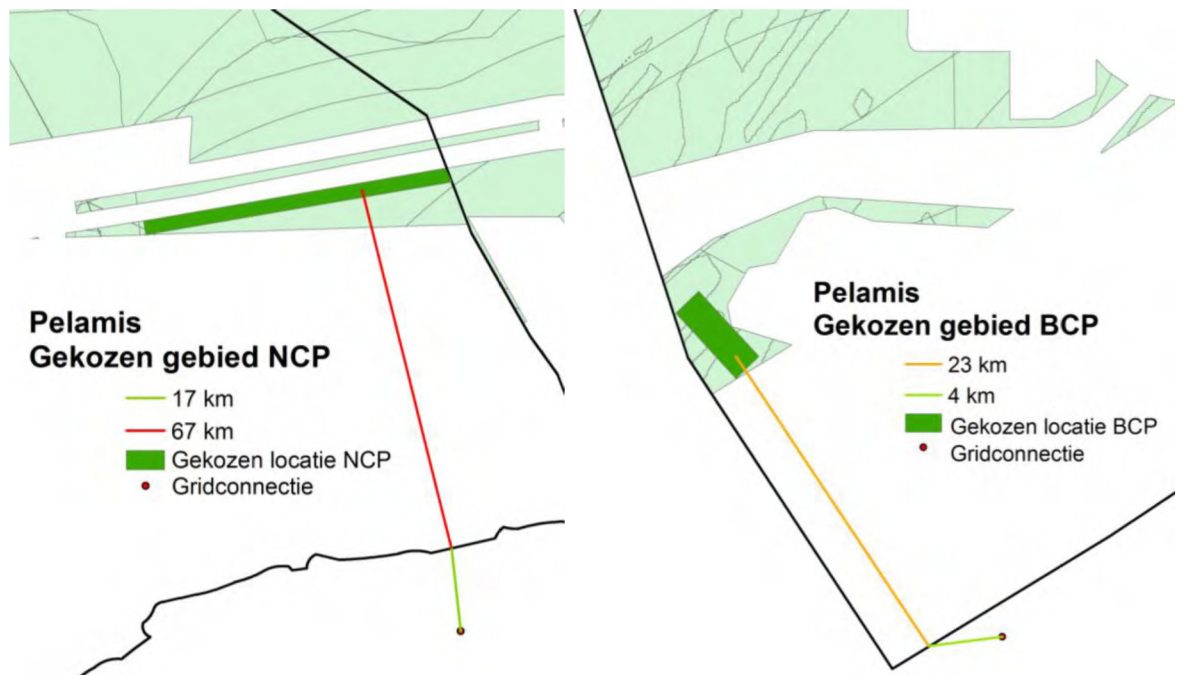
**Tabel VII-10: Scores en kenmerken van de gekozen locatie voor de Pelamis**

Het smalle gedeelte aan de linkerkant zal niet gebruikt worden, zodat een oppervlakte van ongeveer 108 km<sup>2</sup> overblijft met als lengte 36 km en als breedte 3 km. De Pelamis heeft een lengte van 150 m en een diameter van 4,5 m. Tussen twee aanliggende Pelamissen (hart op hart) dient een vrije ruimte van 200 m te zijn zodat beide Pelamissen volledig kunnen draaien zonder elkaar te raken en er nog voldoende ruimte overblijft voor een eventueel onderhoud (§IX.3.1). Tussen twee rijen dient eveneens een vrije ruimte van 200 m te bestaan omwille van eventuele onderhoudswerken. Per rij kunnen dan ongeveer 181 Pelamissen geplaatst worden en er is voldoende ruimte om 8 rijen Pelamissen achter elkaar te leggen. Tabel VII-10 toont de factoren met bijhorende scores en kenmerken voor de gekozen locatie. Vooraleer een park gebouwd wordt, moet het golfklimaat natuurlijk nauwkeuriger onderzocht worden zodat het toestel hier op afgestemd kan worden.

In Duitsland wordt nog een tweede gebied beschouwd omdat de meest geschikte locatie tussen twee scheepvaartroutes is gelegen en mogelijk toch niet beschikbaar is (gebied 2). Deze tweede zone is vlak achter de eerste zone gelegen (Figuur VII-23). De afmetingen van dit gebied zijn: een lengte van 40 km en een breedte van 4 km zodat 201 Pelamissen naast elkaar kunnen liggen op 11 rijen.

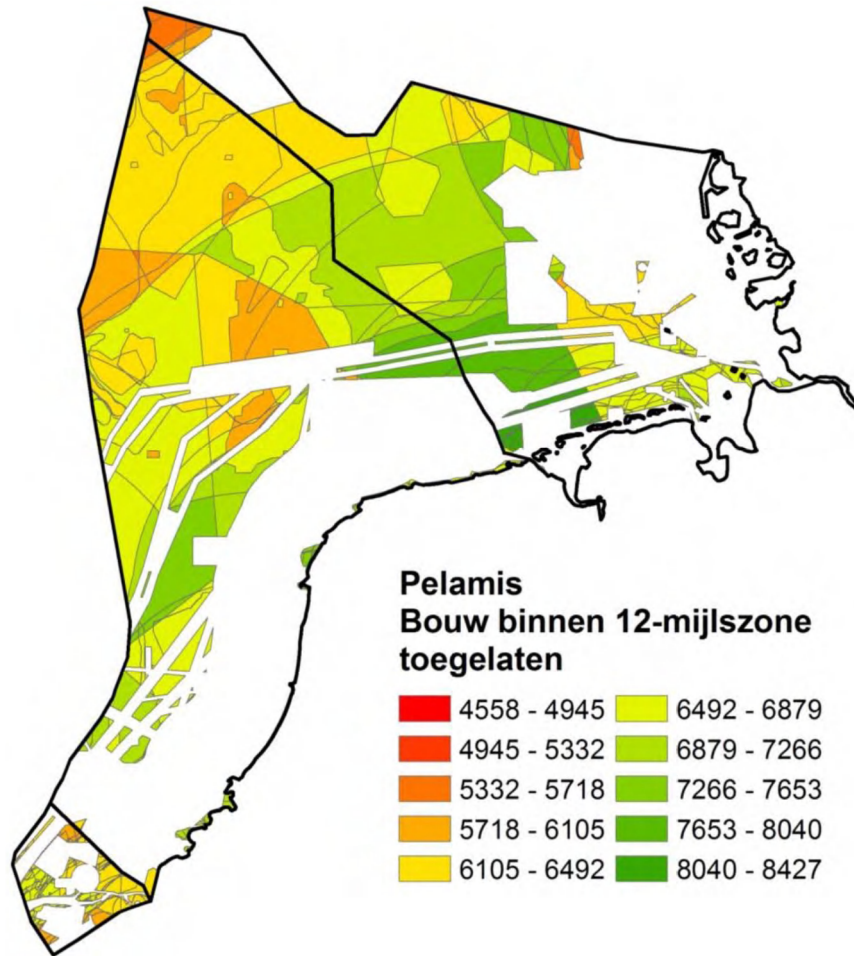


Figuur VII-23: Gekozen locatie voor de installatie van een golfenergieconvertoorpark van Pelamissen (DCP)



Figuur VII-24: Meest geschikte locatie op het NCP (links) en op het BCP (rechts) voor de Pelamis

Voor België en Nederland wordt ook gezocht naar de meest geschikte locatie voor de plaatsing van een park. In België is dit gebied gelegen aan de Oostdyck bank zoals rechts te zien is op Figuur VII-24. Het gebied heeft een lengte van 5,5 km en een breedte van 2 km zodat maximaal 28 toestellen op één rij kunnen. Er kunnen 5 rijen Pelamissen achter elkaar gelegd worden. Op het Nederlands Continentaal Plat ligt het meest geschikte gebied vlak naast de Duitse grens zoals voorgesteld op Figuur VII-24 (links). De strook heeft een totale lengte van 56 km en een breedte van 2,8 km. Op deze manier kunnen maximaal 281 Pelamissen naast elkaar liggen en 8 rijen achter elkaar geplaatst worden.

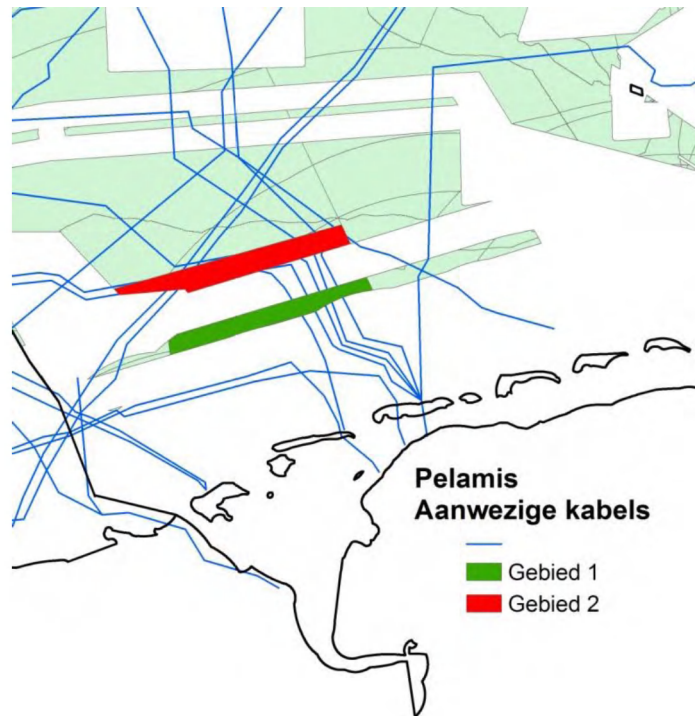


**Figuur VII-25: Meest geschikte locaties voor de Pelamis indien de bouw binnen de 12-mijlszone is toegestaan**

Zoals reeds opgemerkt in §IV.16 is het niet duidelijk of de bouw van een golfenergieconverteerparke is toegestaan binnen de 12-mijlszone. In eerste instantie is aangenomen dat dit geen optie is maar ter volledigheid wordt onderzocht of een locatie binnen de 12-mijlszone meer geschikt is als locatie voor het park. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn, zoals voorgesteld op Figuur VII-25. De meeste factoren zullen éézelfde score hebben bij dit nieuwe gebied als bij het gekozen gebied. De factoren afstand tot de kust en afstand tot de gridconnectie en de daaruit volgende kabelkost echter zijn positiever bij het nieuwe gebied.

Indien de bouw van een golfenergieconverteorpark is toegestaan in dit gebied, zal deze zone een kleinere investeringskost met zich meebrengen.

Tot slot wordt ook gecontroleerd hoeveel kabels gekruist moeten worden bij de aanleg van de elektriciteitsverbinding vanuit gebied 1 en gebied 2. Figuur VII-26 toont de kabels die op dit moment aanwezig zijn in de omgeving van het gekozen gebied. Afhankelijk van het exacte traject dat gekozen wordt, zullen 0, 1 of meerdere kabels gekruist moeten worden. Het traject dat weergegeven is op Figuur VII-23 zal 1 kabel moeten kruisen. Over het aantal wrakken dat in het gebied gelegen is, zijn geen gegevens beschikbaar voor deze studie.



Figuur VII-26: Aanwezige kabels in de buurt van de gekozen locaties

## VII.5 Locatiebepaling van de SSG

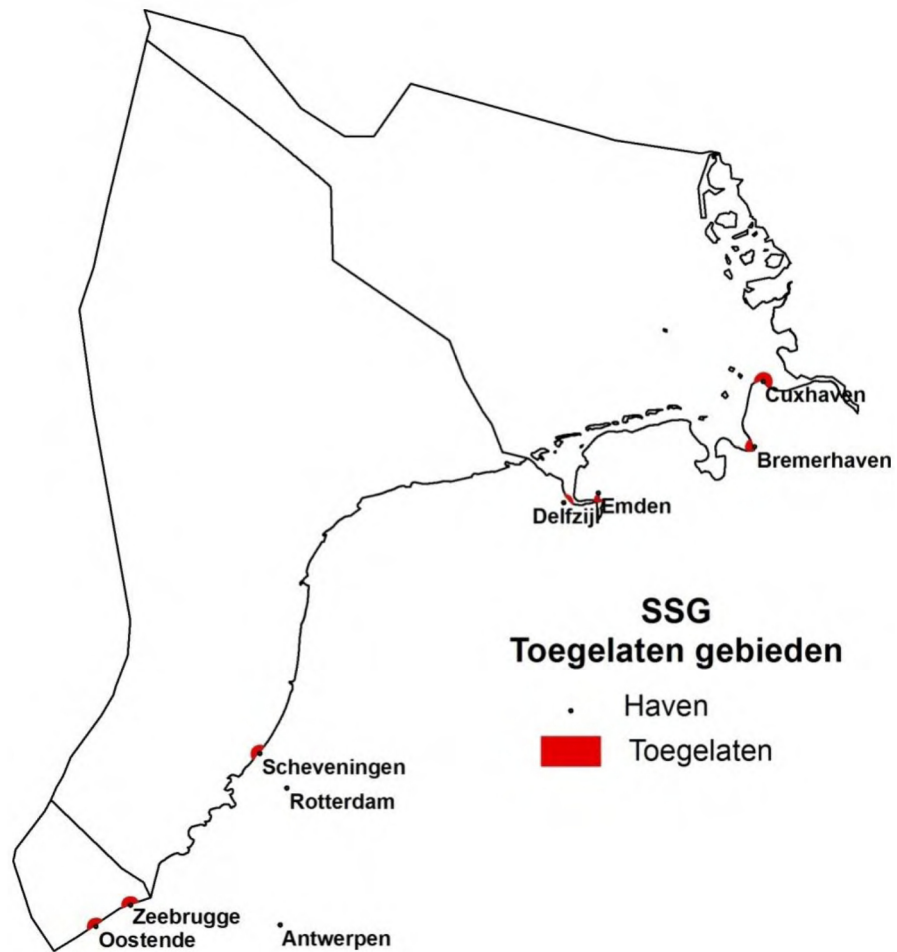
De beperkingen en de factoren van de SSG zijn verschillend van deze van de Pelamis en worden aldus besproken. Het resultaat, nl. de meest geschikte plaatsen om een SSG te bouwen, wordt voorgesteld in §VII.5.3. Er wordt slechts één gewichtenreeks beschouwd zoals besproken is in §VI.2.

### VII.5.1 Beperkingen

Een SSG wordt gebouwd in een golfbreker en zal in de omgeving van de kust geplaatst worden. Daarenboven komen golfbrekers voornamelijk voor in de buurt van havens. Er wordt aangenomen dat een SSG enkel nabij havens gebouwd zal worden in een straal van 5 km rond de



haven. De grootte van de toelaatbare gebieden is hierdoor klein en is weergegeven op Figuur VII-27. Er worden 7 havens beschouwd: Cuxhaven, Bremerhaven, Emden, Delfzijl, Scheveningen, Zeebrugge en Oostende. Er worden verder geen beperkingen in rekening gebracht.



Figuur VII-27: Toelaatbare gebieden voor de SSG

### VII.5.2 Factoren

De factoren worden besproken onder §V.3. De belangrijkste verschillen met de Pelamis zijn:

- Het toevoegen van de factor golfrichtingsafhankelijkheid
- Het weglaten van de factor haven: de nabijheid van een haven is reeds gegarandeerd door de keuze van de toelaatbare gebieden
- Het weglaten van de factor kust: het toestel bevindt zich namelijk op de kust zelf.

De gewichten bepaald in §VI.2 worden nog eens herhaald in Tabel VII-11.

Factor	Gewicht [-]
Bodem	4
Grid	9
Diepte	15
Golfvermogen	41
Extreme omstandigheden	3
Golfrichtingsafhankelijkheid	21
Maanden	7
Som	100

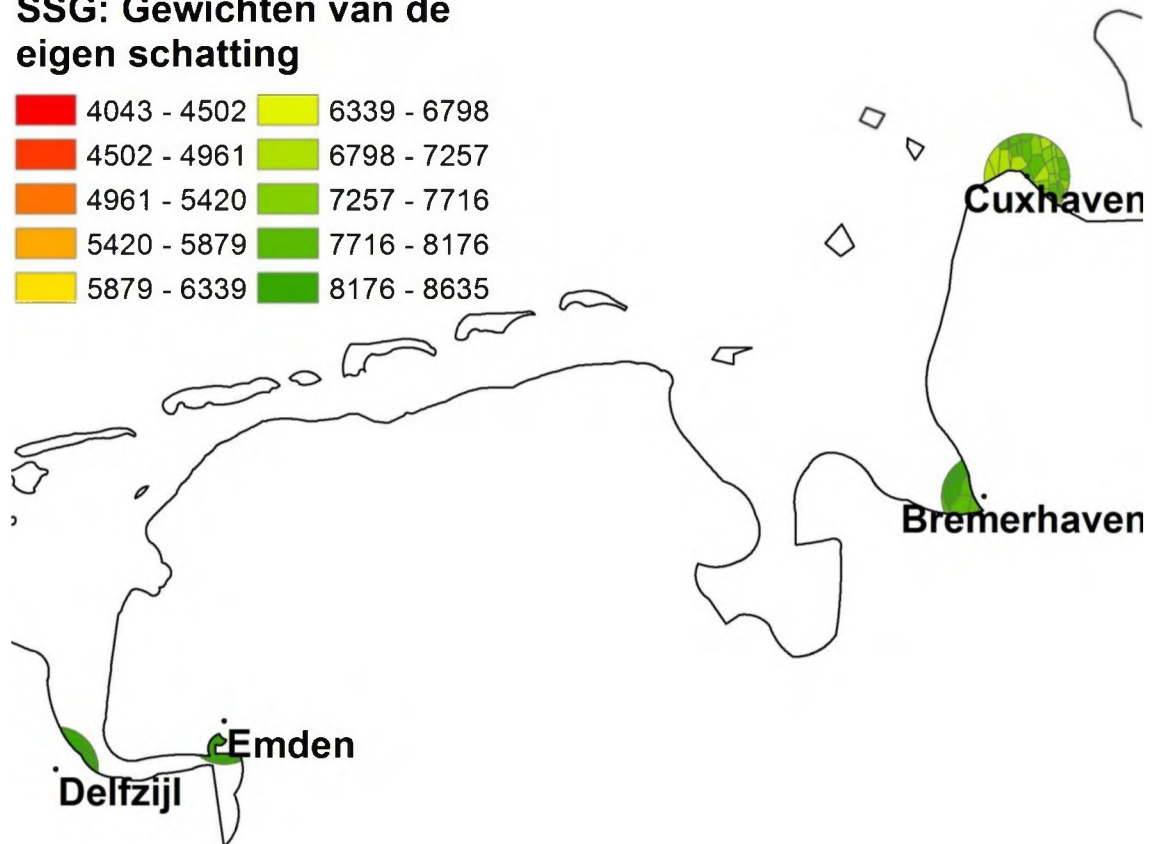
Tabel VII-11: Overzicht van de gewichten voor de SSG

### VII.5.3 Resultaat

Opdat de toelaatbare gebieden duidelijk zichtbaar zouden zijn, worden de havens per land voorgesteld op Figuur VII-28, Figuur VII-29 en Figuur VII-30. De totaalscores hebben waarden gelegen tussen 4.043 en 8.635. De Belgische havens scoren het slechtste, voornamelijk omwille van het minder geschikte golfklimaat. In Duitsland liggen de scores het hoogste en is er niet zoveel verschil tussen de vier havens. De Nederlandse haven Scheveningen scoort beter dan België maar slechter dan Duitsland.

#### SSG: Gewichten van de eigen schatting

<span style="color: red;">■</span> 4043 - 4502	<span style="color: yellow;">■</span> 6339 - 6798
<span style="color: orange;">■</span> 4502 - 4961	<span style="color: lightgreen;">■</span> 6798 - 7257
<span style="color: darkorange;">■</span> 4961 - 5420	<span style="color: green;">■</span> 7257 - 7716
<span style="color: gold;">■</span> 5420 - 5879	<span style="color: darkgreen;">■</span> 7716 - 8176
<span style="color: yellow;">■</span> 5879 - 6339	<span style="color: forestgreen;">■</span> 8176 - 8635

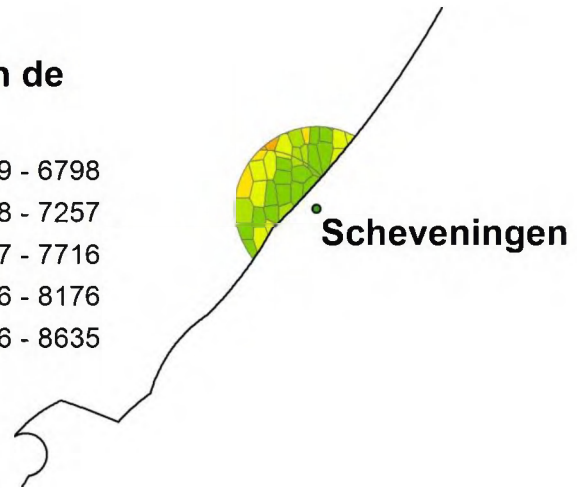


Figuur VII-28: Totaalscores voor de SSG langs de Duitse havens Cuxhaven, Bremerhaven, Emden en Delfzijl



**SSG: Gewichten van de eigen schatting**

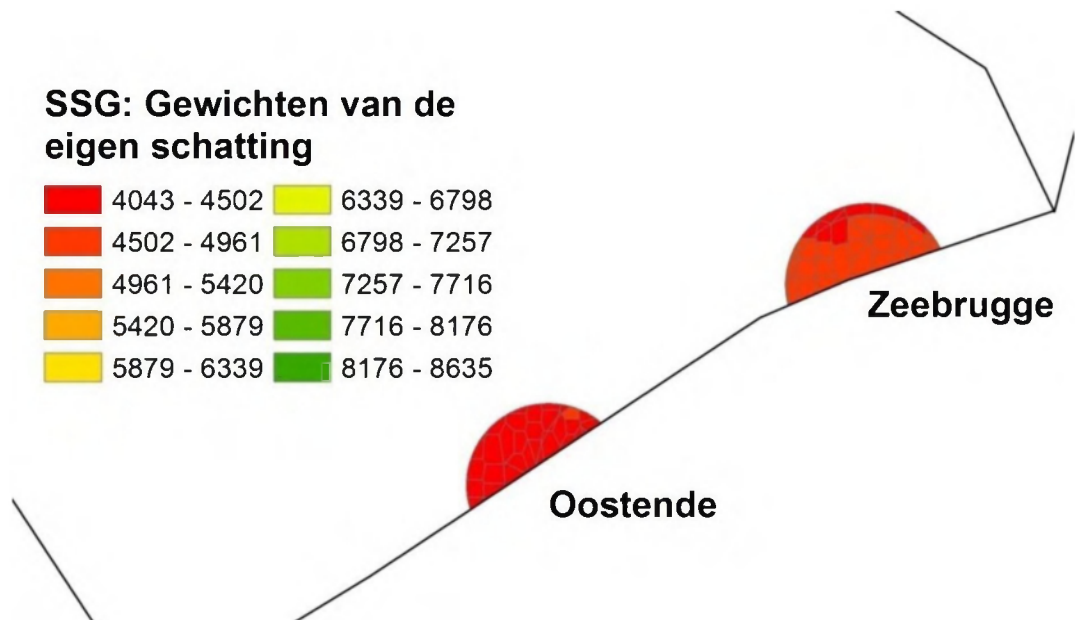
4043 - 4502	6339 - 6798
4502 - 4961	6798 - 7257
4961 - 5420	7257 - 7716
5420 - 5879	7716 - 8176
5879 - 6339	8176 - 8635



**Figuur VII-29: Totaalscores voor de SSG langs de Nederlandse haven Scheveningen**

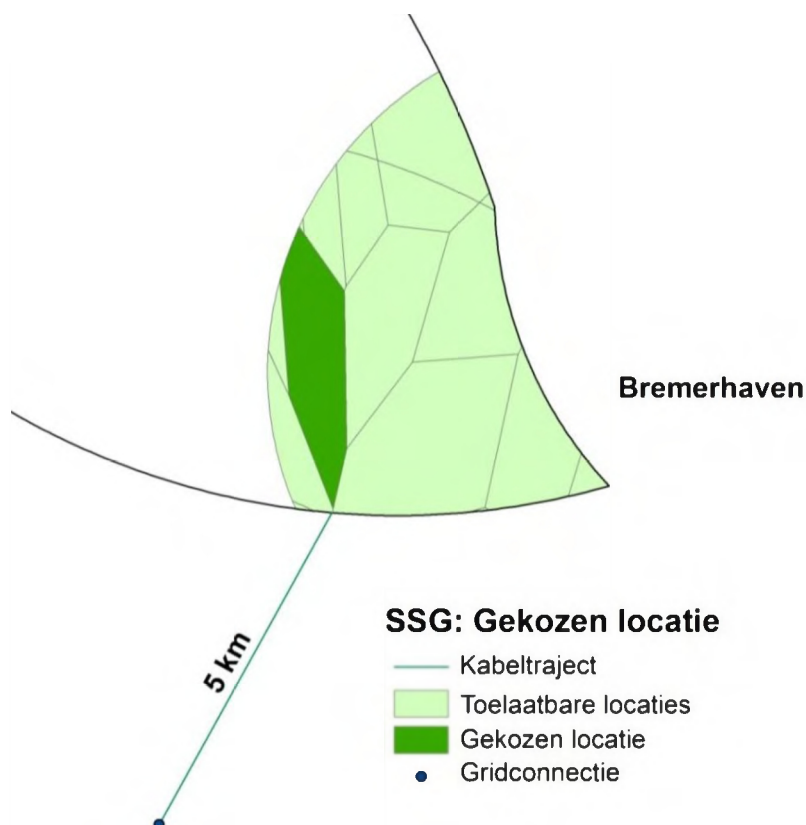
**SSG: Gewichten van de eigen schatting**

4043 - 4502	6339 - 6798
4502 - 4961	6798 - 7257
4961 - 5420	7257 - 7716
5420 - 5879	7716 - 8176
5879 - 6339	8176 - 8635



**Figuur VII-30: Totaalscores voor de SSG langs de Belgische havens Zeebrugge en Oostende**

### VII.5.4 Gekozen locatie



**Figuur VII-31: Gekozen locatie voor de installatie van een SSG**

Een gebied nabij Delfzijl blijkt de meest geschikte locatie voor de bouw van een SSG maar de oppervlakte is te beperkt (8.000 m<sup>2</sup> en een lengte van 150 m, score van 8635). Het tweede best scorende gebied heeft een score van 8573 en is gelegen aan Bremerhaven, zoals voorgesteld op Figuur VII-31. De totale lengte van het gebied bedraagt 3,5 km en de breedte bedraagt gemiddeld 500 m zodat de afmetingen geen probleem vormen voor de bouw van een golfbreker en de installatie van een SSG. In de omgeving van een haven zal echter steeds onderzocht moeten worden of de bouw van een golfbreker is toegestaan en of de aanwezigheid van een golfbreker hinder veroorzaakt voor het scheepvaartverkeer.

Factor	Score [-]	Kenmerken
Bodem	100,000	Zand
Grid	85,714	5 km
Diepte	99,622	-6 m
Golfvermogen	80,551	945,82 kW
Extreme omstandigheden	100,000	-
Golfrichtingsafhankelijkheid	100,000	0,9
Maandelijksse variatie	0,000	1

**Tabel VII-12: Scores van de gekozen locatie voor de SSG**

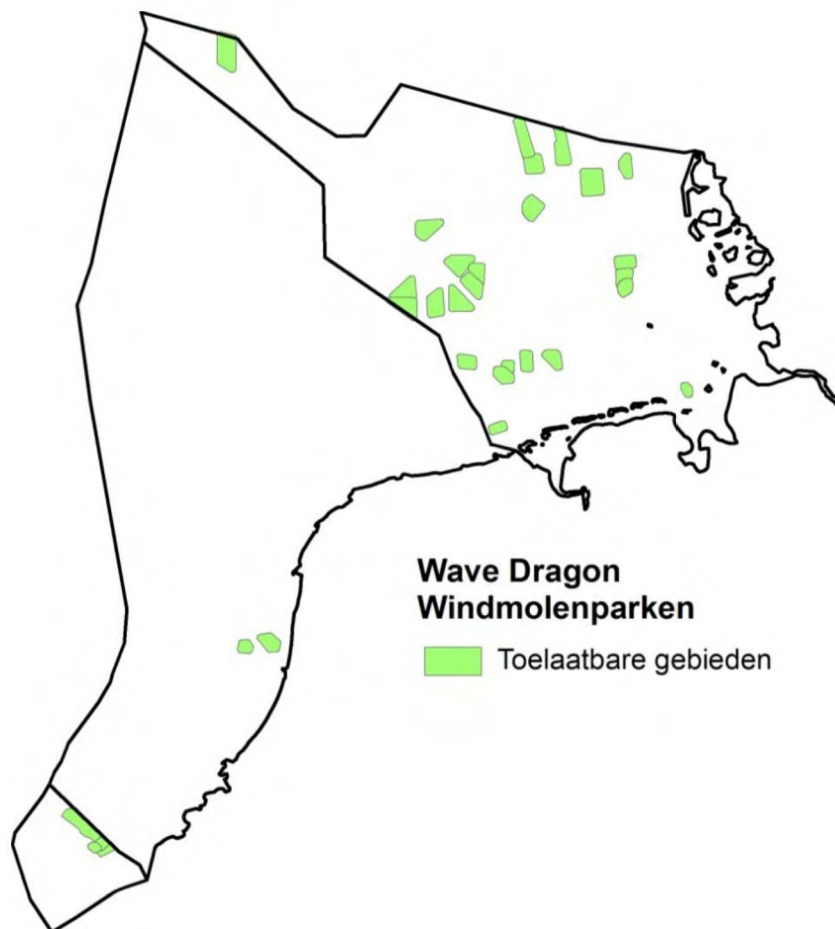
## VII.6 Locatiebepaling van de Wave Dragon

Als laatste wordt het schaalmodel van de Wave Dragon besproken. De beperkingen en factoren verschillen met de Pelamis en de SSG zodat ze kort besproken worden. Vervolgens worden de meest geschikte locaties voorgesteld en besproken.

### VII.6.1 Beperkingen

Twee verschillende situaties worden beschouwd:

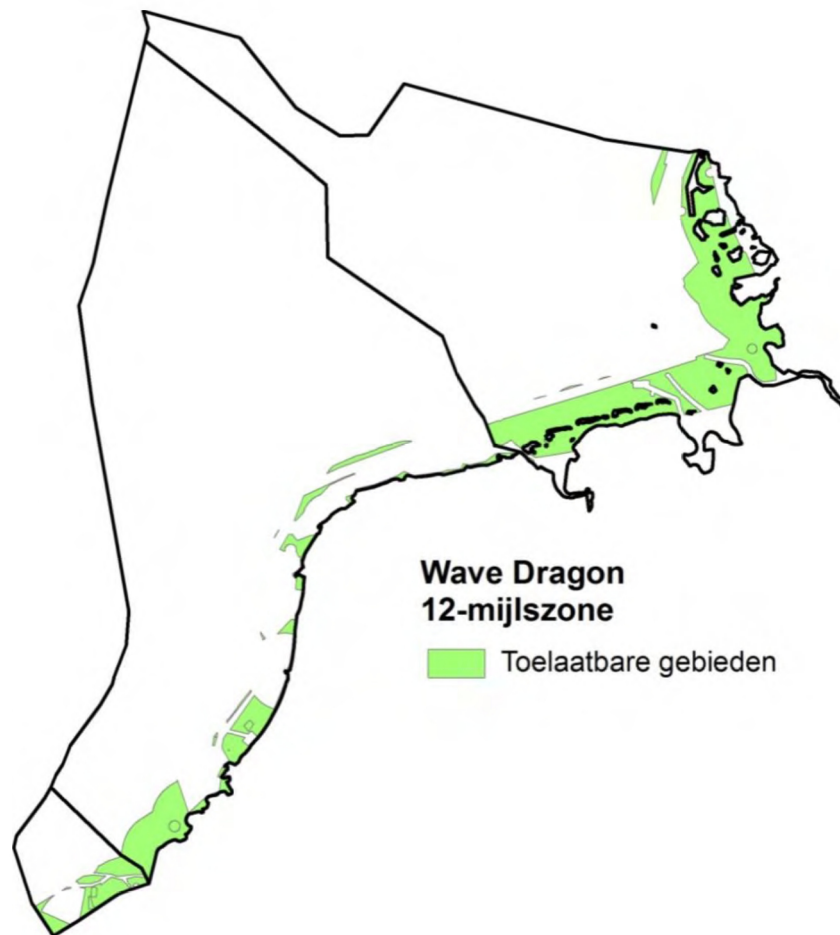
- Het plaatsen van een schaalmodel in de nabijheid van een windmolenpark. Er wordt aangenomen dat de kabel van de Wave Dragon rechtstreeks aangesloten kan worden op de kabel of op de elektrische installatie van het windmolenpark zodat de grote kabelkost verdwijnt. Het vermogen dat geleverd wordt door een schaalmodel van de Wave Dragon is te vergelijken met een stopcontact of een kleine batterij en zal dus niet veel bijdragen tot de elektriciteitslevering. Wat wel belangrijk is bij een schaalmodel, is de meting van het geproduceerde vermogen zodat het model verder op punt kan gesteld worden.



Figuur VII-32: Windmolenparken op het BCP, NCP en DCP

Figuur VII-32 toont de windmolenparken op het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat. De meeste van deze parken zijn nog niet gebouwd, maar de zones zijn reeds gereserveerd voor de toekomst.

- Het plaatsen van een schaalmodel is toegestaan binnen de 12-mijlszone (§II.4). Enkel de gevaarlijke beperkingen worden in rekening gebracht zoals militaire zones en scheepvaartroutes. Er wordt aangenomen dat de bouw toegelaten is in natuur- en habitatgebieden, afvalzones en wingebieden. Deze aanname is noodzakelijk omdat anders slechts weinig gebieden overblijven binnen de 12-mijlszone. Op die wijze worden de kabel- en onderhoudskosten gedrukt aangezien het toestel op korte afstand van de kust gelegen is. Het zal zelden interessant zijn om een schaalmodel ver in zee te plaatsen zodat enkel de gebieden binnen de 12-mijlszone beschouwd worden (Figuur VII-33).



Figuur VII-33: Toelaatbare gebieden binnen de 12-mijlszone

### **VII.6.2 Factoren**

De twee situaties brengen verschillende eisen met zich mee waardoor de factoren zullen verschillen.

### VII.6.2.1 Windmolenparken

De factor afstand tot het grid zal niet beschouwd worden aangezien wordt uitgegaan van een rechtstreekse connectie tussen het toestel en het windmolenpark. De kabelkost die hieruit volgt zal voor alle gebieden dezelfde zijn en dient aldus niet in aanmerking genomen te worden bij de bepaling van het meest geschikte gebied.

De factor afstand tot de kust zal vervallen om dezelfde reden als de factor afstand tot het grid.

De factor bathymetrie wordt beschouwd maar alle gebieden krijgen een score 100 aangezien de dieptes ter plaatse van de windmolenparken ruim voldoende zijn.

### VII.6.2.2 12-mijlszone

Tabel VII-13 geeft een overzicht van de factoren die in rekening worden gebracht. De scoreverdeling verschilt voor de analyse in de nabijheid van een windmolenpark en voor de analyse binnen de 12-mijlszone (§V.4).

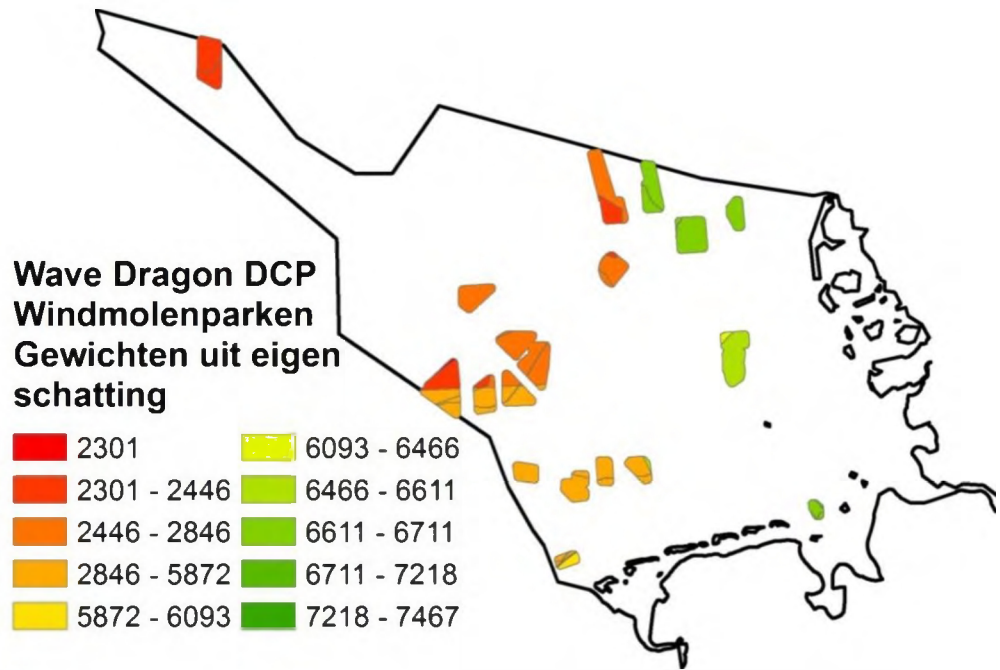
Factor	Nabij windmolenpark	Binnen 12-mijlszone
	Gewicht [-]	Gewicht [-]
Bodem	5	4
Kust	-	10
Haven	13	10
Grid	-	10
Diepte	5	4
Golfhoogte	18	14
Golfperiode	18	14
Extreme omstandigheden	21	19
Golfrichtingsafhankelijkheid	7	5
Maandelijkse variatie	13	10
Som	100	100

Tabel VII-13: Overzicht van de gewichten voor de Wave Dragon

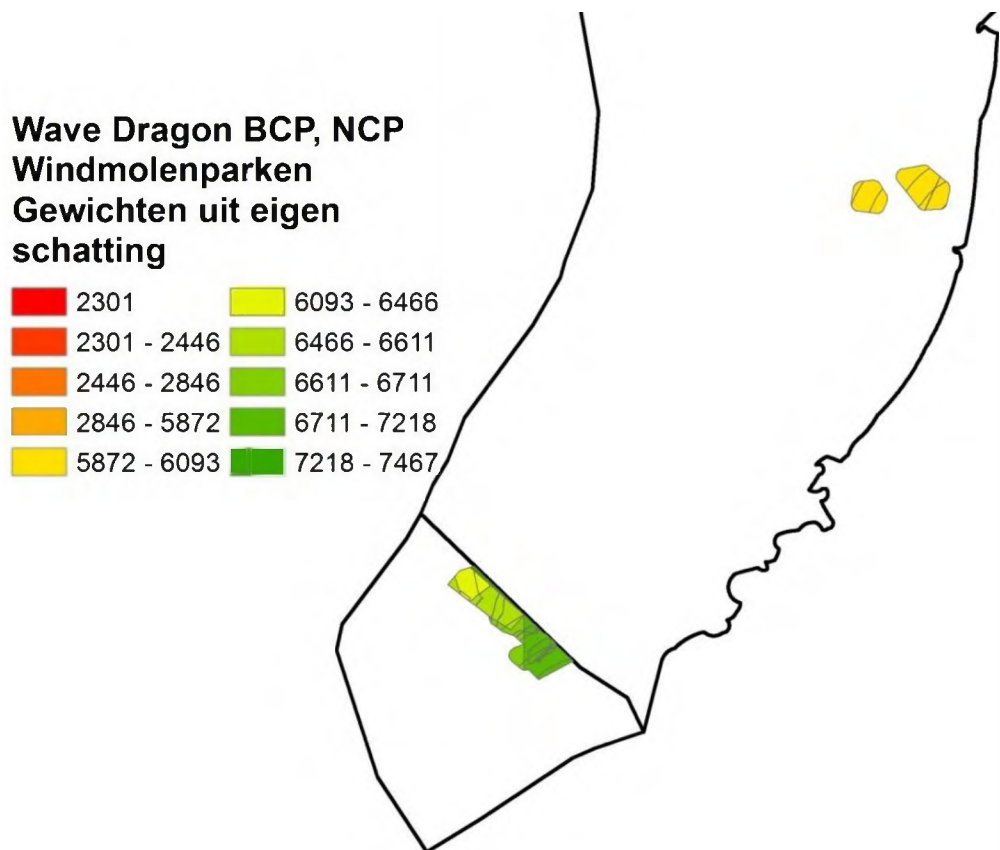
## VII.6.3 Resultaat

### VII.6.3.1 Windmolenparken

De totaalscores zijn gelegen tussen 2.301 en 7.218 met de hoogste score bij het Belgische windmolenpark. De windmolenparken in Nederland en Duitsland zijn niet erg geschikt als locatie voor een schaalmodel van de Wave Dragon. Het beste scorende windmolenpark in Duitsland is vlak bij de kust gelegen met een score van 7.700 en zou eventueel wel kunnen gebruikt worden voor het schaalmodel van de Wave Dragon.



Figuur VII-34: Totaalscores voor de Wave Dragon bij de windmolenparken in Duitsland

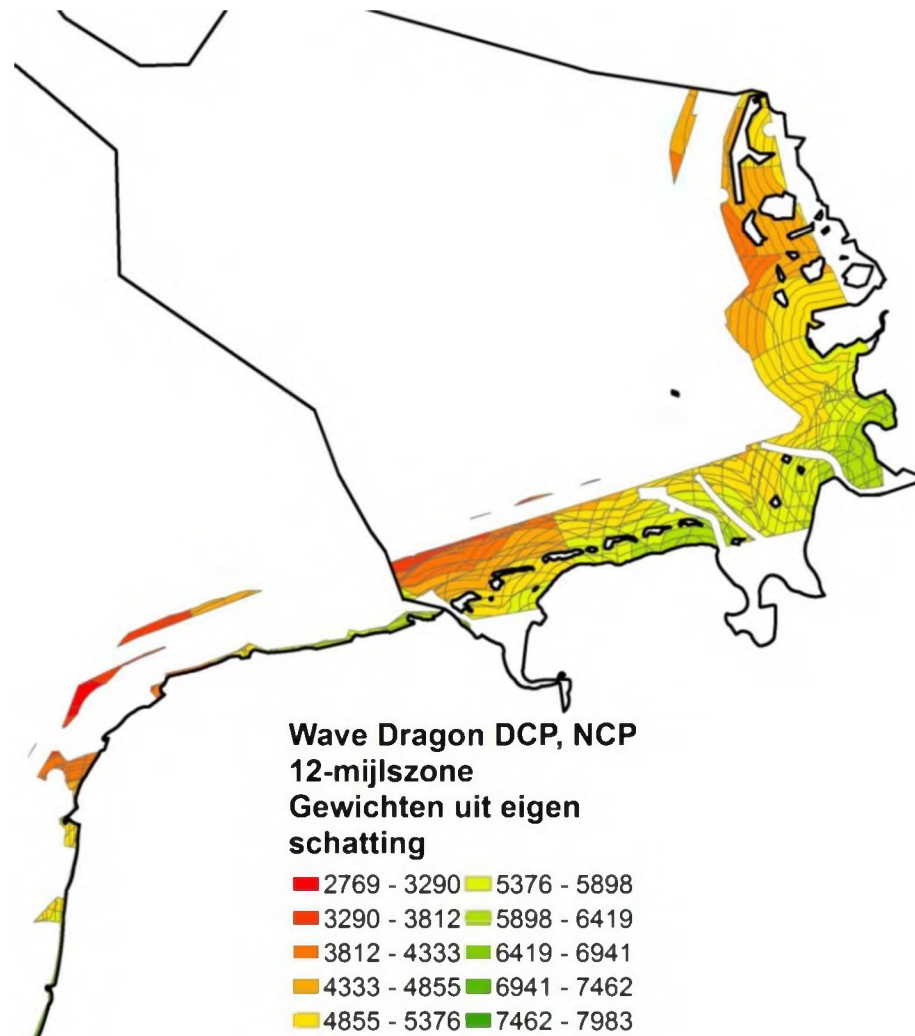


Figuur VII-35: Totaalscores voor de Wave Dragon bij de windmolenparken in Nederland en België

Er zijn twee belangrijke redenen waarom het Belgische windmolenpark de hoogste totaalscore behaalt. Enerzijds is het golfklimaat op het BCP relatief goed gepast voor een schaalmodel van de Wave Dragon: de extreme omstandigheden zijn beperkt, de variatie van de maanden is gelijkmatig en de golfhoogte zit dicht bij de ideale situatie. Enkel de golfperiode behaalt de relatief lage score van 27. Anderzijds is de afstand tot de haven klein in vergelijking met de andere windmolenparken.

### VII.6.3.2 12-mijlszone

De totaalscores bij het leggen van een schaalmodel van de Wave Dragon in de 12-mijlszone variëren tussen 2.769 en 7.983 (Figuur VII-36 en Figuur VII-37). De zones langs de Belgische kust zijn zeer geschikt als testzone voor de Wave Dragon, voornamelijk in de onmiddellijke nabijheid van de kust. De redenen hiervoor zijn gelijkaardig als beschreven onder §VII.6.3.1. De Nederlandse kust bezit eveneens enkele goede gebieden, Duitsland daarentegen is totaal ongeschikt.

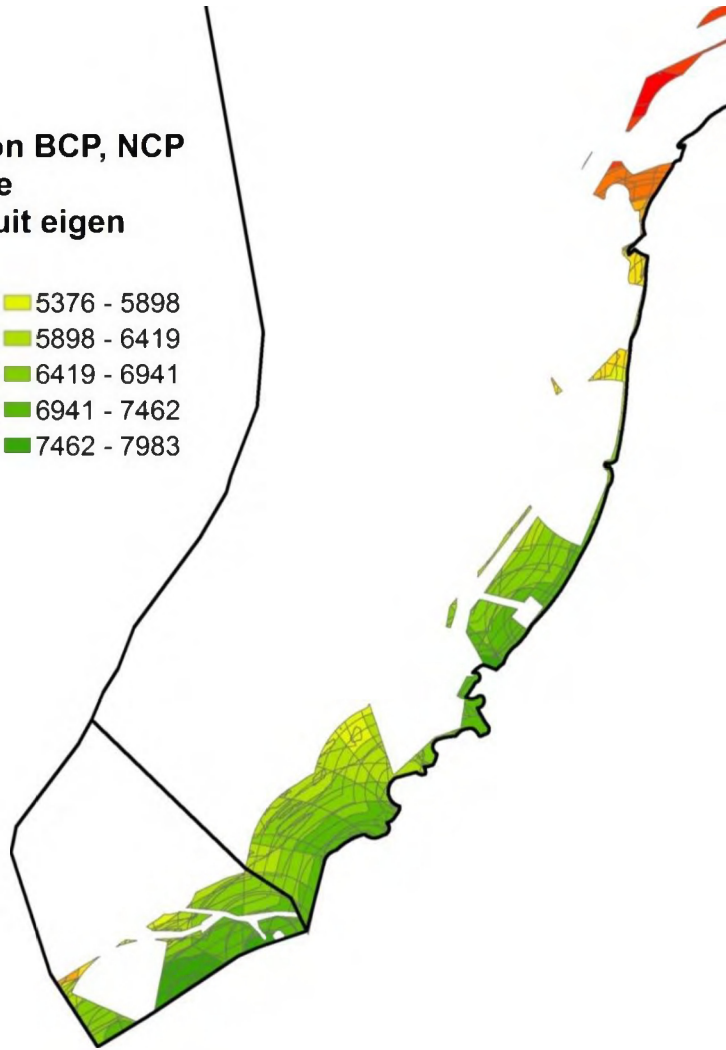


Figuur VII-36: Totaalscores voor de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone op DCP en NCP



**Wave Dragon BCP, NCP  
12-mijlszone  
Gewichten uit eigen  
schatting**

■ 2769 - 3290	■ 5376 - 5898
■ 3290 - 3812	■ 5898 - 6419
■ 3812 - 4333	■ 6419 - 6941
■ 4333 - 4855	■ 6941 - 7462
■ 4855 - 5376	■ 7462 - 7983



**Figuur VII-37: Totaalscores voor de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone in Nederland en België**

### ***VII.6.4 Gekozen locatie***

Voor het schaalmodel van de Wave Dragon worden twee locaties gekozen: een eerste binnen de 12-mijlszone en een tweede in de nabijheid van een windmolenpark. Zoals te zien op Figuur VII-39 en Figuur VII-38 liggen de best scorende gebieden op het BCP.

Het best scorende gebied binnen de 12-mijlszone ligt vlak tegen de kust met mogelijk een te beperkte diepte en bijgevolg toch niet ideaal. Daarom wordt het verderliggende gebied met een gelijkaardige totaalscore, ook in rekening gebracht. Het totale gebied dat beschouwd wordt voor de aanleg van een schaalmodel is weergegeven op Figuur VII-39. Dit is nog een vrij groot gebied, rekening houdend met de afmetingen van het schaalmodel: 58 m x 33 m. Een cirkelvormig gebied met een diameter van 70 m zal ruim volstaan voor de plaatsing van het schaalmodel. Er kunnen binnen het gekozen gebied nauwkeurigere metingen en onderzoeken uitgevoerd worden om de meest geschikte locatie te bepalen.



Het best scorende gebied in de nabijheid van een windmolenpark is gelegen aan de Thorntonbank, bij het windmolenpark van C-power. Om de kabelkost zo laag mogelijk te houden, zal het schaalmodel best vlak bij de elektrische installaties geplaatst worden.

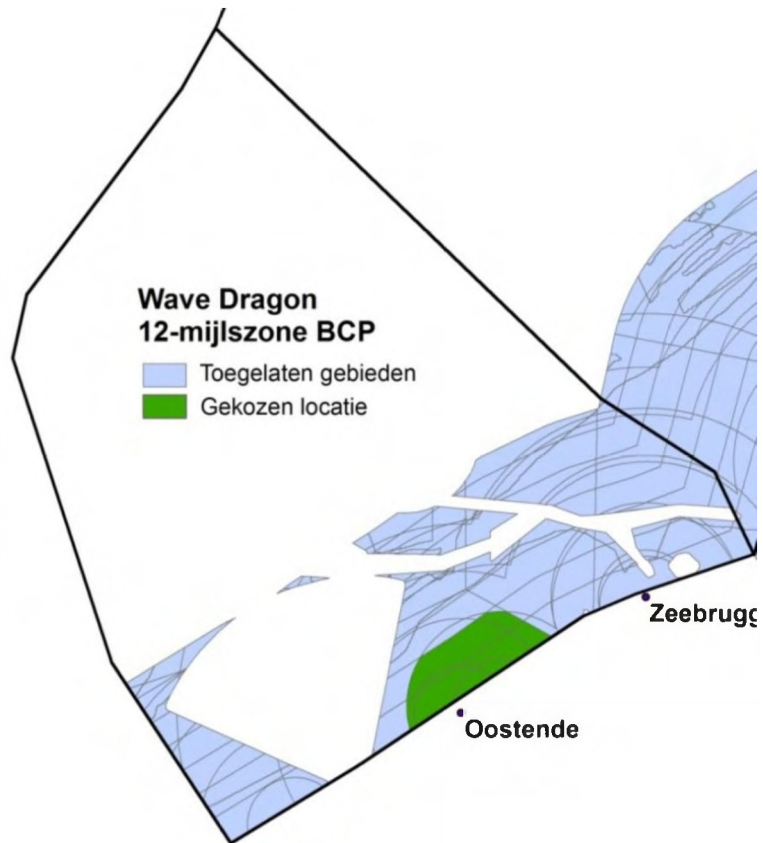
In de haalbaarheidsstudie (Hoofdstuk IX) zal slechts één locatie besproken worden, namelijk de locatie binnen de 12-mijlszone nabij de haven van Oostende. Deze keuze wordt gemaakt omdat de locatie iets makkelijk te bereiken is en voor onderzoeksdoeleinden meer geschikt is.

Factor	Nabij windmolenpark	Binnen 12-mijlszone
Bodem	zand	Zand
Kust	-	1 km
Haven	30 km	5 km
Grid	-	5 km
Diepte	-20 m	-5 m
Golfhoogte	11,78	13,39
Golfperiode	4,67	3,37
Extreme omstandigheden	8,71	4,3
Golfrichtingsafhankelijkheid	0,69	0,78
Maandelijkse variatie	0,9	0,9

Tabel VII-14: Scores van de gekozen locatie voor de Wave Dragon



Figuur VII-38: Gekozen locatie voor de plaatsing van een schaalmodel van de Wave Dragon nabij een windmolenpark



**Figuur VII-39: Gekozen locatie voor de plaatsing van een schaalmodel van de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone**

# Hoofdstuk VIII: Elektrische verbinding

Alvorens kan worden overgegaan tot de haalbaarheidsstudie voor elk toestel, dient de connectie met het bestaande grid onderzocht te worden. In dit hoofdstuk wordt een beknopte kabelstudie weergegeven. De keuze voor de kabel zelf en de aanleg van de kabel worden beschouwd. Verder wordt de connectie tussen de toestellen onderling en de connectie van de kabel met de dichtstbijzijnde gridconnectie nader verklaard.

## VIII.1 Elektriciteitskabels

De informatie i.v.m. AC- en DC kabels is gebaseerd op een artikel van ESS, consultants to Cape Wind Associates, LLC met als titel "Transmission issues for offshore wind farms with specific application to siting of the proposed cape wind project" [69].

Onderzeese elektriciteitskabels worden tot op heden voornamelijk aangelegd naar offshore windmolenparken. De methode die gebruikt wordt voor de connectie tussen het windmolenpark en het vaste land is voornamelijk wisselstroom, afgekort tot AC (alternating current). Ook de connectie tussen de windmolens onderling gebeurt m.b.v. AC kabels, meestal 33 kV kabels. Voor parken met een maximaal vermogen van ongeveer 50 MW wordt voor de verbinding naar de onshore gridconnectie eveneens gebruik gemaakt van 33 kV kabels. Indien het park groter wordt dan 50 MW, is er nood aan een hoger AC voltage (§VIII.1.3). Daarnaast zal ook een offshore substation gebouwd moeten worden met transformatoren die de omzetting realiseren tussen de 33 kV kabels en de kabels met een hogere spanning (§VIII.4.4). Kabels met een voltage hoger dan 35 kV worden HVAC kabels genoemd: High Voltage Alternating Current. Voor alle wisselstroomkabels zal de afkorting AC gebruikt worden.

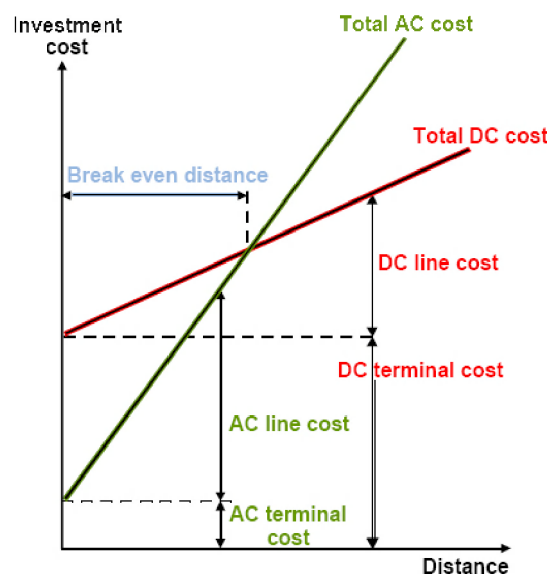
Voor de kabelconnectie van een golfenergieconvertorpark kunnen dezelfde principes gebruikt worden als voor een windmolenpark. De huidige windmolenparken in België, Nederland en Duitsland liggen op maximaal 45 km van de kust, met een maximale kabellengte van 70 km. Het verst gelegen windmolenpark "Borkum West" bevindt zich in Duitsland en is nog volop in aanbouw [56]. Er zijn in Duitsland echter nog veel windmolenparken gepland die op veel grotere afstand van de kust gelegen zijn (Figuur VII-32). De locaties die in Duitsland gekozen zijn voor de Pelamis liggen op maximaal 42 km van de kust, de gekozen locatie in Nederland ligt reeds 67 km van de kust (§VII.4.5). De kans is groot dat golfenergieconvertorparken in de toekomst nog verder zullen liggen. Indien zulke afstanden in beschouwing worden genomen, worden de beperkingen van het AC kabeltype, zoals de grote verliezen, steeds duidelijker.

Er wordt daarom nog een tweede kabeltype bestudeerd: gelijkstroom, afgekort tot HVDC (high voltage direct current) of simpelweg DC. Dit type probeert verliezen zoals bij AC kabels te vermijden en heeft een lagere kabelkost dan AC kabels maar brengt een ander nadeel met zich mee. Er zullen twee convertorstations nodig zijn, een eerste offshore om de stroom om te zetten van AC naar DC en een tweede onshore om de stroom terug om te zetten van DC naar AC, wat de kostprijs verhoogt.

De keuze tussen AC of DC hangt af van vele variabelen, o.a.:

- de kabelverliezen
- de kabelkost
- het transmissievoltage
- de afstand
- de nood aan convertorstations
- ...

De keuze tussen AC en DC zal voornamelijk gebeuren op basis van de afstand tussen het park en de gridconnectie of m.a.w. op basis van de investeringskost (Figuur VIII-1). Indien de afstand tot de dichtstbijzijnde gridconnectie korter is dan ongeveer 70 km [70], wordt gekozen voor AC kabels, zowel voor windmolenparken als voor golfenergieconvertorparken. Golfenergieconvertorparken zullen zo dicht mogelijk bij de kust geplaatst worden zonder daarbij in te boeten aan beschikbaar golfvermogen. Daar het golfvermogen meestal hoger is op grote afstand van de kust, zal er vaak nood zijn aan DC kabels ter vervanging van AC kabels. Op Figuur VIII-1 is de break-even afstand voorgesteld in functie van de belangrijkste kosten. De "terminal cost" bestaat voornamelijk uit de transformator- en/of convertorkost, de "line cost" staat voor de kabelkost.



**Figuur VIII-1: Vergelijking investeringskosten AC en DC [70]**

Er zal verder uiteengezet worden welke types AC en DC kabels op de markt zijn, wat hun voor- en nadelen zijn en welk spanningsniveau gekozen dient te worden. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan welke toepassing of in welke situatie elk type het best tot zijn recht komt.

### ***VIII.1.1 Wisselstroom***

De meest gebruikte technologie voor onderzeese HVAC kabels is solid dielectric met XPLE (crosslinked polyethylene insulation)(Figuur VIII-2). Er bestaan ook enkele alternatieven, zoals:

- high-pressure pipe-type: fluid-filled (HPFF) or gas-filled (HPGF) with paper insulation
- low-pressure oil-filled (LPOF) with paper insulation : self-contained liquid-filled (SCLF)



**Figuur VIII-2: Doorsnede van een 3-fasige solid dielectric kabel met XPLE [70]**

Zoals reeds vermeld, zijn de verliezen in een AC kabel vrij groot. Deze verliezen zijn rechtstreeks evenredig met  $I^2$  ( $I$  = stroomsterkte [A]) en bestaan uit:

- Dielectric verliezen: deze zijn betrekkelijk klein
- $I^2R$  verliezen in de conductoren: dit is de grootste component ( $R$  = weerstand [ $\Omega$ ])
- $I^2R$  verliezen in het metalen schild: deze verliezen bedragen ongeveer  $\frac{1}{3}$  van de conductorverliezen

- $I^2R$  verliezen in het pantser van de staaldraad: deze verliezen bedragen ongeveer  $\frac{1}{2}$  van de conductorverliezen

Een tweede beperkende factor is de elektrische capaciteit die overvoltages, hoge harmonische stromen en ongewilde resonantie kan veroorzaken. Er wordt gesproken van overvoltage indien het voltage hoger wordt dan waarvoor het circuit ontworpen is. Er bestaan meerdere oorzaken van overvoltage bv. een fout in de isolatie, het optreden van ferromagnetische resonantie, het inschakelen van capacitieve circuits, het opwarmen van de kabel, ... [71]. De hoge harmonische stromen worden veroorzaakt door niet-lineaire belastingen zoals gelijkrichters, regelbare aandrijvingen, enz. die aangesloten worden op het net [72]. Hoe langer de kabel, hoe moeilijker het wordt om een goed ontwerp te creëren dat de transmissiecapaciteit zo weinig mogelijk onderbreekt en vermindert.

Deze twee nadelen zijn gemeenschappelijk aan alle AC kabels maar de grootte van de verliezen en de gevolgen van de elektrische capaciteit zijn groter bij HPFF, HPGF en LPOF dan bij solid dielectric. Een extra nadeel van onderzeese HPFF en HPGF kabels betreft het ingraven van de kabels in de grond. Dit kan immers enkel gebeuren door het uitbaggeren van een sleuf en niet met de goedkopere jettingmethode (§VIII.2.1). Ook de LPOF kabels hebben een bijkomend nadeel: de conductoren moeten voorzien worden van een druksysteem dat natuurrisico's met zich meebrengt indien de kabel scheurt of beschadigd wordt. Dit druksysteem in de conductoren bestaat uit een holle kern die gevuld is met isolerende olie onder druk. Het grootste voordeel van deze AC kabeltypes is dat ze reeds meer dan 60 jaar in gebruik zijn en gedurende die periode hun hoge betrouwbaarheid bewezen hebben [73]. Omwille van de nadelen verbonden aan deze systemen, zal het echter interessanter zijn om het solid dielectric type op zee te gebruiken en de andere systemen enkel op land toe te passen.

Volgende kenmerken treden op indien de lengte van de AC kabel vergroot:

- De verliezen vergroten
- De complexiteit van het ontwerp, om de operationele zekerheid te verzekeren, vergroot
- De hoeveelheid energie daalt door hogere elektrische capaciteit

### ***VIII.1.2 Gelijkstroom***

Tot op heden is reeds enkele malen gebruik gemaakt van DC kabels voor de connectie van offshore energieparken met het grid [74]. De voornaamste reden hiervoor is de afstand van deze offshore parken tot de connectie met het grid. DC kabels zijn immers vooral voordelig over grote afstanden: voor onderzeese kabels ligt de break-even afstand tussen 50 en 100 km [70] (Figuur VIII-1). In Tabel VIII-1 wordt een overzicht gegeven van recente toepassingen van DC kabels.

<b>Project</b>	<b>Klant</b>	<b>Land</b>	<b>Afstand [km]</b>	<b>Rating MVA</b>	<b>Startdatum</b>	<b>Voltage [kV]</b>	<b>Geleider [mm<sup>2</sup>]</b>
Gotland Light	Gotland Energy	Zweden	140	60	1999	80	340
Direct Link	Transenergie US	Australië	390	3 x 60	2000	84	630
Tjæreborg	ELTRA	Denemarken	9	8	2000	10	240
Cross Sound	Transenergie US	USA	84	330	2002	150	630/1300
Murray link	Transenergie US	Australië	360	200	2002	150	630/1200/1400
Troll A	Statoil	Noorwegen	284	2 x 41	2005	60	300
Estlink	Nordic Energy Link	Estland/Finland	212	/	2006	150	1000/2000

**Tabel VIII-1: Toepassingen van DC kabels [74]**

Er bestaan twee belangrijke varianten van DC kabels:

- Conventionele DC
- Voltage source converter (VSC)

Het verschil tussen beiden types bestaat voornamelijk uit de AC/DC convertor aan de uiteinden van de kabelverbinding.

Het conventionele DC systeem maakt gebruik van een thyristor-based current-source convertor. Dit systeem heeft nood aan een hoge AC stroom aan beide uiteinden, wat betekent dat er steeds energie geproduceerd moet worden. In het geval van windmolenparken treden er dus problemen op zodra er weinig wind is; voor golfenergieconvertoren zullen de problemen optreden indien er te lage of te hoge golven zijn waardoor de energieproductie stil ligt. Om te produceren, dient bij de Pelamis bijvoorbeeld de golfhoogte gelegen te zijn tussen 1 en 6,5 m (Tabel III-12). Een tweede nadeel is de grootte van het convertorstation om AC om te zetten naar DC. Dit convertorstation heeft een groot platform nodig om de elektrische elementen en convertiesystemen op te plaatsen waardoor de kosten hoger worden. Omwille van deze nadelen is het conventionele DC systeem niet interessant om toe te passen bij offshore energieparken.

Het nieuwere VSC systeem is gebaseerd op een insulated gate bipolar transistor (IGBT). Hierbij is geen constante stroom nodig vanuit het offshore energiepark, wat de toepasbaarheid voor golfenergieconvertorparken vergroot. Ook het tweede nadeel van het conventionele DC systeem wordt gereduceerd: het nodige convertorstation is maar half zo groot wat de kost van het platform verlaagt.

Het gemeenschappelijke aan beide varianten zijn de kabels en dus ook de kenmerken van de kabels, zoals de verliezen die optreden:

- Dielectric verliezen bedragen 20% van de dielectric verliezen bij AC kabels.
- De conductorverliezen zijn lager dan de conductorverliezen bij AC kabels.
- Er treden geen verliezen op in het metalen schild en de pantser van de staaldraad omdat er geen wisselstroom in conductor is.

Er bestaan nog enkele voordelen van HVDC:

- Asynchrone connectie: frequentie en spanning kunnen verschillen aan beide kanten
- Vermijden van resonantie

### ***VIII.1.3 Spanningsniveau***

Het spanningsniveau dat gekozen wordt, is afhankelijk van verschillende factoren: de grootte van het golfenergieconvertorpark, de aansluiting op het bestaande elektriciteitsnet en de kostprijs van de kabel.



### VIII.1.3.1 Grootte van een park

De grootte van een golfenergieconvertoorpark wordt weergegeven in MW. Het betreft hier het theoretisch haalbare vermogen en niet het praktisch geproduceerde vermogen. Tabel VIII-2 geeft enkele voorbeelden van vermogens transfereerbaar door DC kabels [70].

Er bestaat een lineair verband tussen de vermogens van de verschillende spanningsniveaus bij gelijkblijvende doorsnede, nl. bij een verdubbeling van het spanningsniveau, zal ook het vermogen verdubbelen bij eenzelfde doorsnede. Indien aldus het vermogen gekend is bij een bepaald voltageniveau en een bepaalde sectie, is het mogelijk door inter- of extrapolatie het vermogen te berekenen bij een ander spanningsniveau en gelijkblijvende sectie [70]. Er wordt aangenomen dat dezelfde regel geldig is voor AC kabels.

Sectie [mm <sup>2</sup> ]	Vermogen [MW] 80 kV	Vermogen [MW] 150 kV	Vermogen [MW] 300 kV
400	122	230	459
500	141	265	530
630	164	307	614
800	188	353	705
1000	214	401	801
1200	233	437	875
1400	255	478	956
1600	275	516	1032
1800	293	549	1098
2000	312	586	1172
2200	330	619	1237
2400	347	651	1302
2600	364	683	1365
2800	380	712	1424
3000	396	742	1484

Tabel VIII-2: Vermogens van DC kabels bij verschillende doorsneden en spanningsniveaus [70]

Op basis van [75] kan ook tussen AC en DC kabels een verband worden afgeleid (Tabel VIII-3). Er staat niet vermeld voor welke doorsnede deze waarden geldig zijn. Een algemene vaststelling is dat een DC kabel met dezelfde doorsnede en hetzelfde voltageniveau als een AC kabel 1,7 keer meer vermogen kan transporteren.

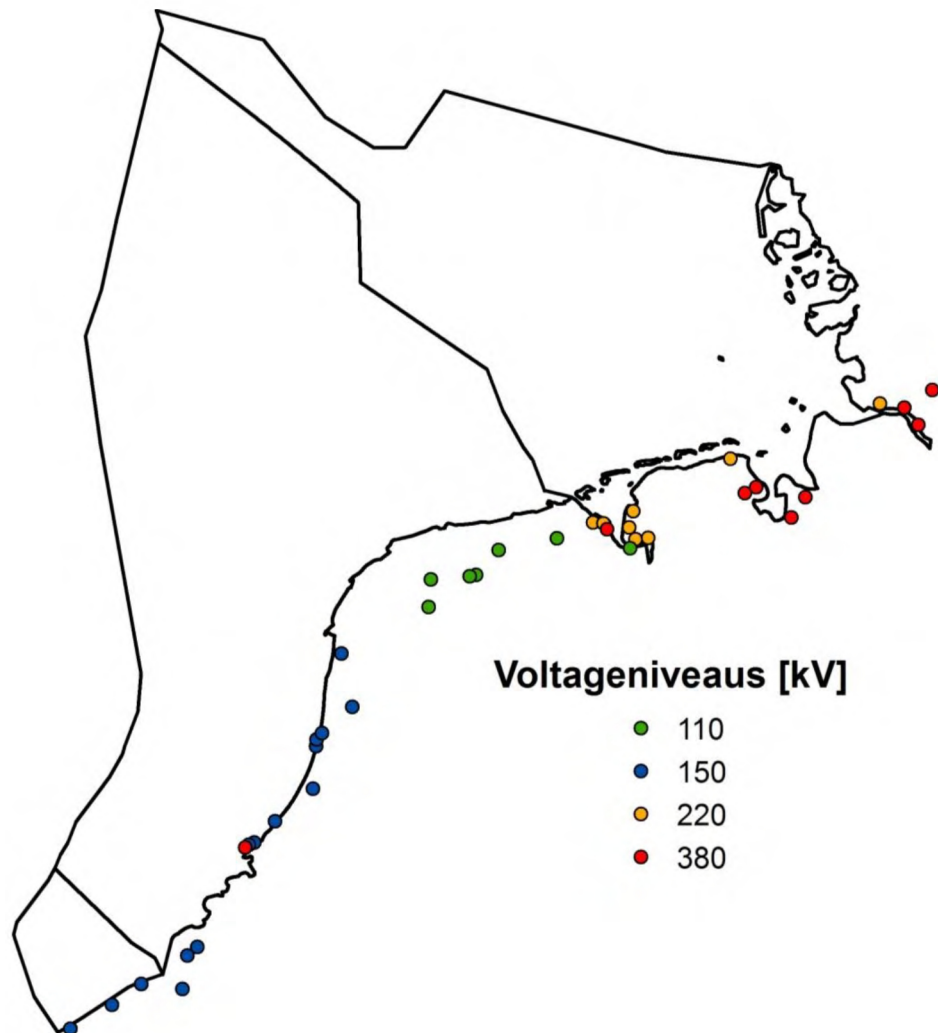
Verband tussen AC en DC kabels		
Spanningsniveau [kV]	33	132
Vermogen [MW] voor AC kabels	26	130
Vermogen [MW] voor DC kabels	44,5	220
Verhouding (DC/AC)	1,71	1,69

Tabel VIII-3: Verband tussen AC en DC kabels [75]

### VIII.1.3.2 Bestaande gridconnecties

De spanningsniveaus van de gridconnectiepunten aan land liggen vast. Voor de eenvoud wordt geprobeerd om onderzeese kabels te gebruiken met éénzelfde voltageniveau als de connectie op het land zodat geen extra transformatorstation op land geplaatst dient te worden. In België bijvoorbeeld zijn er in de nabijheid van de kust enkel aansluitingsmogelijkheden op 150 kV (Figuur VIII-3). Indien het over te brengen vermogen te groot is om te geschieden met een 150 kV kabel, zal bijvoorbeeld een 220 kV kabel gebruikt worden met een extra transformatorstation op land.

Figuur VIII-3 toont de connectiepunten met bijhorend spanningsniveau langs de Noordzeekust van België, Nederland en Duitsland. Er bestaan ook knooppunten met lagere voltageniveaus langs de kust maar deze data zijn niet ter beschikking voor dit onderzoek.



Figuur VIII-3: Gridconnecties langs de kusten van België, Nederland en Duitsland

### VIII.1.3.3 Kostprijs

Een exacte kostprijs voor kabels is moeilijk te vinden aangezien deze prijs afhankelijk is van verschillende factoren zoals de doorsnede, het spanningsniveau, ... . Schattingen zijn echter wel terug te vinden in de literatuur [69], [76]. Op basis van de prijzen vermeld in [76] kan besloten worden dat de doorsnede de voornaamste factor is bij het bepalen van de kabelprijs. Dit komt voornamelijk door de dure koper die verwerkt wordt in kabels.

Spanningsniveau	Doorsnede	Kostprijs (2007)	Eenheid
24 kV AC	300mm <sup>2</sup>	100.000	€/km
36 kV AC	300mm <sup>2</sup>	100.000	€/km
420 kV AC	630mm <sup>2</sup>	500.000	€/km
420 kV AC	800mm <sup>2</sup>	772.500	€/km
420 kV AC	1000mm <sup>2</sup>	907.500	€/km
420 kV AC	1600mm <sup>2</sup>	1.312.500	€/km
420 kV AC	2000mm <sup>2</sup>	1.582.500	€/km
420 kV AC	2500mm <sup>2</sup>	1.920.000	€/km

Tabel VIII-4: Kostprijzen voor AC kabels [76]

In [69] worden prijzen van AC en DC kabels vermeld. Voor vier AC kabels met een voltageniveau van 115 kV en een doorsnede van 630 mm<sup>2</sup> bedraagt de prijs per mijl 2.500.000 \$ (2003). Indien deze prijzen omgerekend worden naar € (2008) (§IX.2.1.1) en km, bedraagt de prijs per kabel 453.000 €/km waarbij de aanlanding is inbegrepen. De DC prijs vermeld in [69], is van toepassing op vier ± 150 kV kabels met een doorsnede van 630 mm<sup>2</sup>. Hiervoor bedraagt de kostprijs 750.000 \$/mijl (2003). Omgerekend naar € (2008) geeft dit een kostprijs van 136.000 €/km. De kostprijs van DC kabels is dus aanzienlijk lager dan de kostprijs van AC kabels. Bij het gebruik van DC kabels is er echter nood aan twee AC/DC convertorstations die 62.000.000 \$ (2003) of 46.000.000 € (2008) kosten per stuk.

De prijs van een 115 kV AC kabel op land met een doorsnede van 630 mm<sup>2</sup> bedraagt volgens [69]: 575.000 \$/mijl (2003) of 417.000 €/km.

Er zal voornamelijk gewerkt worden met AC kabels daar de gekozen locaties op maximaal 67 km van de kust gelegen zijn. Er volgt een meer gedetailleerde studie van de prijzen in §IX.2.1.2.

## VIII.2 Plaatsen van kabels

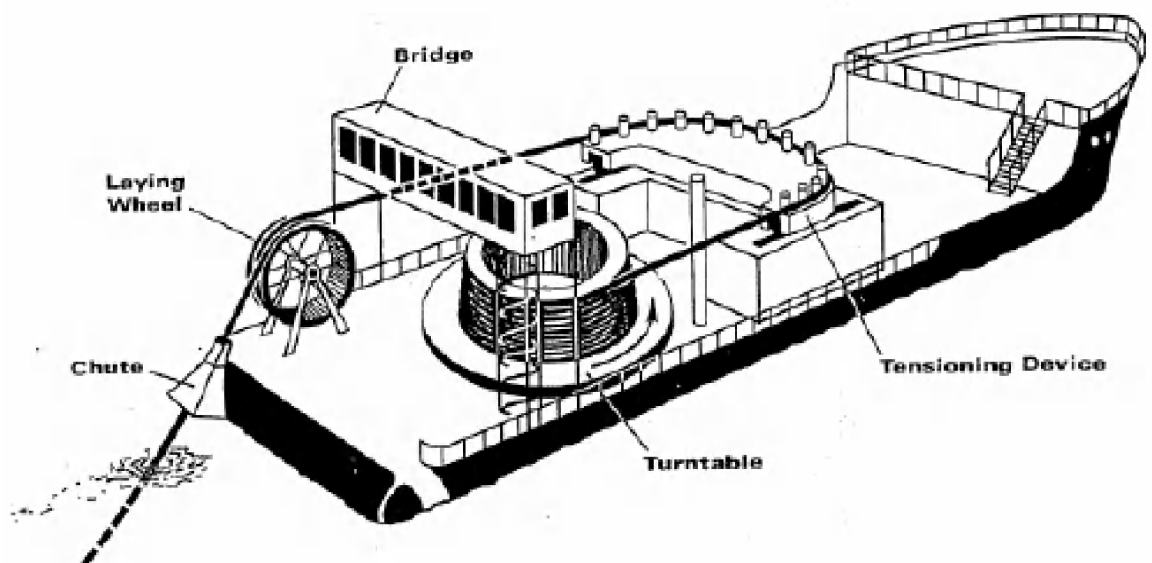
### VIII.2.1 Methodes

Voor het aanleggen van de kabels bestaan verschillende technologieën [48]:

- Jetting

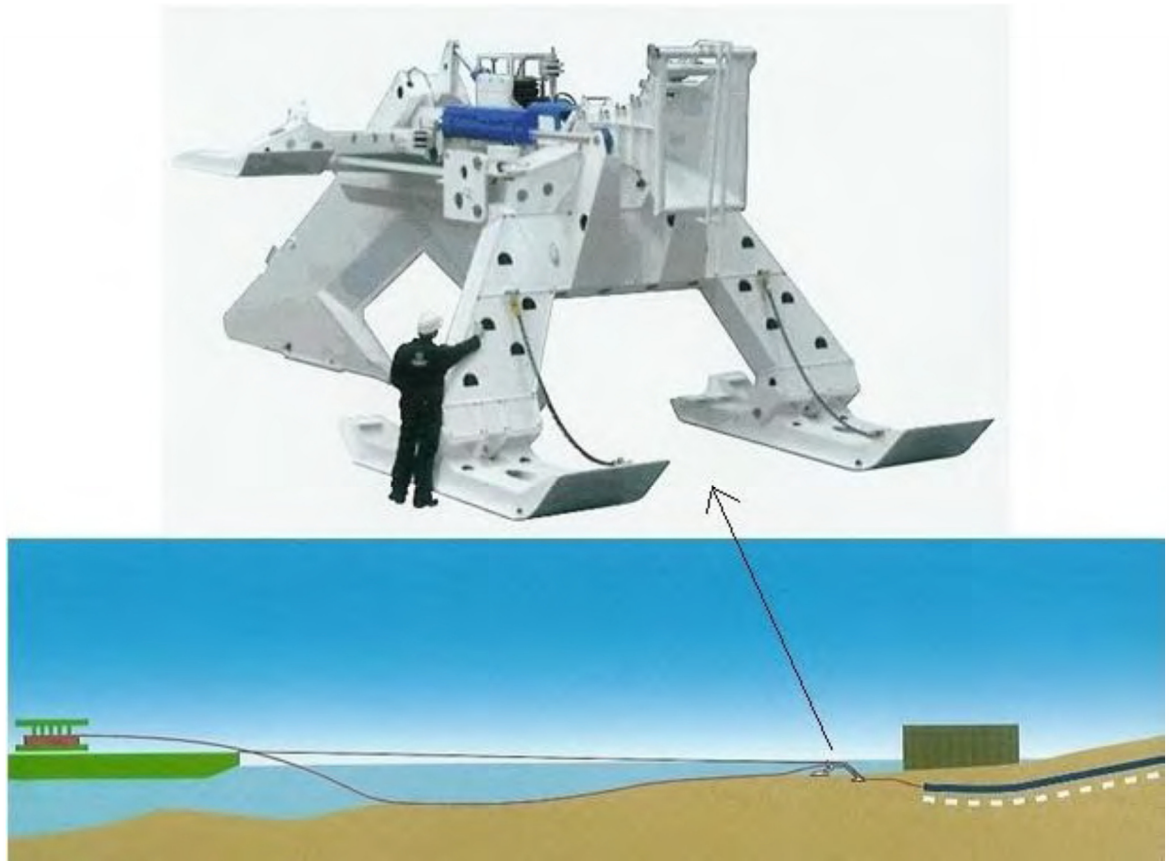
- Ploegen
- Injectoren
- Baggeren

Bij jetting wordt een waterstraal onder hoge druk gebruikt voor het maken van een sleuf. De gebruikte waterdruk is afhankelijk van de bodemkenmerken. Zodoende wordt de bodem vloeibaar en zakt de kabel onder zijn eigen gewicht tot op de vereiste diepte, waarna de sleuf automatisch terug dicht. Met behulp van deze techniek is de toepasbare diepte beperkt tot 3 m [48], afhankelijk van de bodemgesteldheid. De methode is enkel toepasbaar in zand- en slibachtige grond. Door het leggen van de kabels komen zwevende stoffen in het water. Deze verstoring grijpt plaats over een korte tijdsspanne zodat de invloed verwaarloosbaar is. De kabels worden geplaatst gebruikmakend van een jettrencher en een kabellegschip (Figuur VIII-4). Op het kabellegschip is een haspel (laying wheel op Figuur VIII-4) geplaatst met een diameter van ongeveer 25 m waarop de kabel is aangebracht. De kabel wordt automatisch afgerold waarbij de juiste plaatsing gecontroleerd wordt door een Differential Global Positioning System (DGPS).



**Figuur VIII-4: Schets van een kabellegschip [56]**

Het ploegen is een techniek waarbij een ploeg bevestigd is achter het kabellegschip (Figuur VIII-5). Deze ploeg ploegt de bodem open tot op de vereiste diepte waarna de kabel afgerold wordt in de sleuf. Deze sleuf zal automatisch gedicht worden door de natuurlijke stroming en de getijdewerking. De maximale diepte die met deze methode te bereiken is, bedraagt net zoals bij jetting 3 m [48]. Het is niet duidelijk in welke bodemtypes deze methode toepasbaar is maar er wordt vermoed dat het toepassingsgebied hetzelfde is als bij jetting: zand- en slibachtige grond.



**Figuur VIII-5: Plaatsen van een kabel m.b.v. een ploeg [77]**

De techniek van de injectoren is een combinatie tussen jetting en ploegen. Aan de ploeg zijn hoge druk spuitkoppen bevestigd die de bodem loswoelen zowel voor als onder de ploeg. Op deze manier kunnen dieptes tot 8 m verkregen worden afhankelijk van de bodemgesteldheid. Ook hier sluit de sleuf automatisch na verloop van tijd. Het toepassingsgebied is hier ook niet gekend maar is hoogstwaarschijnlijk gelijkaardig aan dat van jetting.

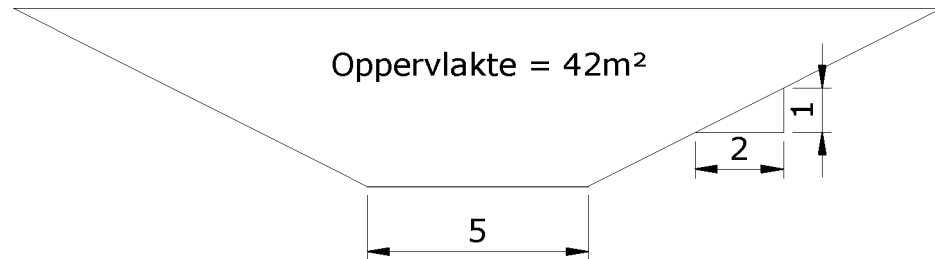
Bij het baggeren van een sleuf kan de diepte zelf gekozen worden. Het is echter een dure methode zodat geprobeerd wordt om deze techniek te combineren met jetting of ploegen. Zo kan een voorgebaggerde sleuf van 1 à 2 m gemaakt worden waarna de vereiste diepte van bvb. 4 m verkregen wordt m.b.v. jetting.

### ***VIII.2.2 Toepassing***

Op de meeste plaatsen is het voldoende de kabel 1 à 2 m in te graven. Hiervoor wordt voornamelijk jetting of ploegen gebruikt aangezien dit de eenvoudigste en goedkoopste methoden zijn. Na een gesprek met Prof. dr. ir. De Rouck werd als kostprijs 100 €/m vastgelegd.

Bij het kruisen van vaarwegen is een minimale diepte van 4 m vereist [48], daarenboven dient de kruising loodrecht te gebeuren [51]. Afhankelijk van het toekomstig gebruik van de scheepvaartroute, is het mogelijk dat de kabel dieper dan 4 m gelegd moet worden. De methode

die hiervoor gebruikt wordt, is baggeren of baggeren in combinatie met jetting of ploegen. De kostprijs voor het baggeren van een sleuf met breedte 5 m, diepte 4 m en een helling van  $\frac{1}{2}$  bedraagt ongeveer 900 €/m (Prof. dr. ir. De Rouck). Indien de sleuf gedicht wordt, geeft dit een meerkost van 100 à 150 €/m. De kostprijs van het baggeren van een sleuf is evenredig met het gebaggerde volume. Op deze wijze kan de kostprijs berekend worden voor diepere of minder diepe sleuven.



**Figuur VIII-6: Afmetingen van een baggersleuf**

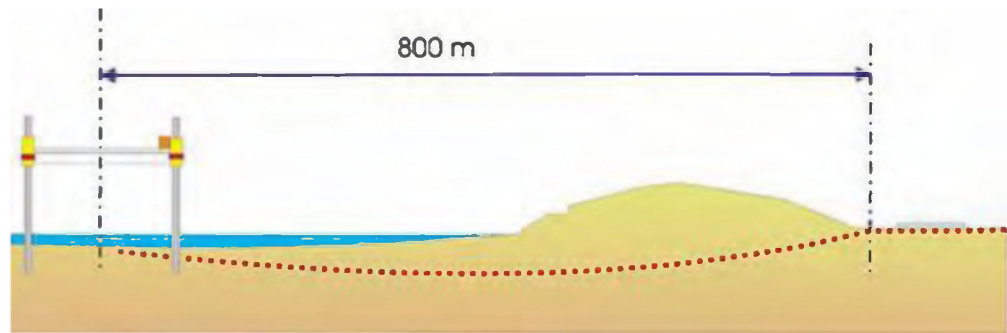
Het kruisen van kabels en gasleidingen brengt extra veiligheidsmaatregelen met zich mee. Het is nodig om de kabels af te schermen van de bestaande leidingen door een draagbed te installeren boven de bestaande leidingen, waarop die nieuwe kabels gelegd worden. Boven de geïnstalleerde kabel komt vervolgens een erosiebescherming die bestaat uit een steenbestorting van 1 m dik over een oppervlakte van 10 m breed en 50 m lang [48]. Dit alles zal een meerkost met zich meebrengen waarvan de grootte niet exact bekend is en van situatie tot situatie zal geanalyseerd moeten worden.

### VIII.3 Aanlanding

Het aan land brengen van de kabels of m.a.w. de aanlanding, gebeurt m.b.v. gestuurde boortechnieken [78]. Er wordt met het boren gestart aan de landzijde en er wordt geboord tot op een voldoende diepte onder de zeevering door. Een boring kan afstanden van ongeveer 1 à 1,5 km overbruggen. Indien de afstand groter is, zal er nood zijn aan meerdere boringen in elkaars verlengde. Het einde van de boring wordt gekozen in de buurt van de lijn waar de zeebodem 4 m [48] à 5 m [78] onder de zeespiegel ligt. Deze diepte is afkomstig van de diepte die aanwezig moet zijn voor het gebruik van de kabellegschepen.

De voornaamste reden voor deze boringen zijn de slechte thermische eigenschappen van duinzand. Daardoor is het niet mogelijk om de kabels rechtstreeks in de bodem te leggen maar dienen er betonnen buizen geplaatst te worden. Bij het opwarmen van de kabels zullen er immers problemen optreden zoals vermeld in §VIII.1.1.

Figuur VIII-7 toont de aanlanding zoals ze uitgevoerd wordt door C-power bij de aanleg van het windmolenpark aan de Thorntonbank.

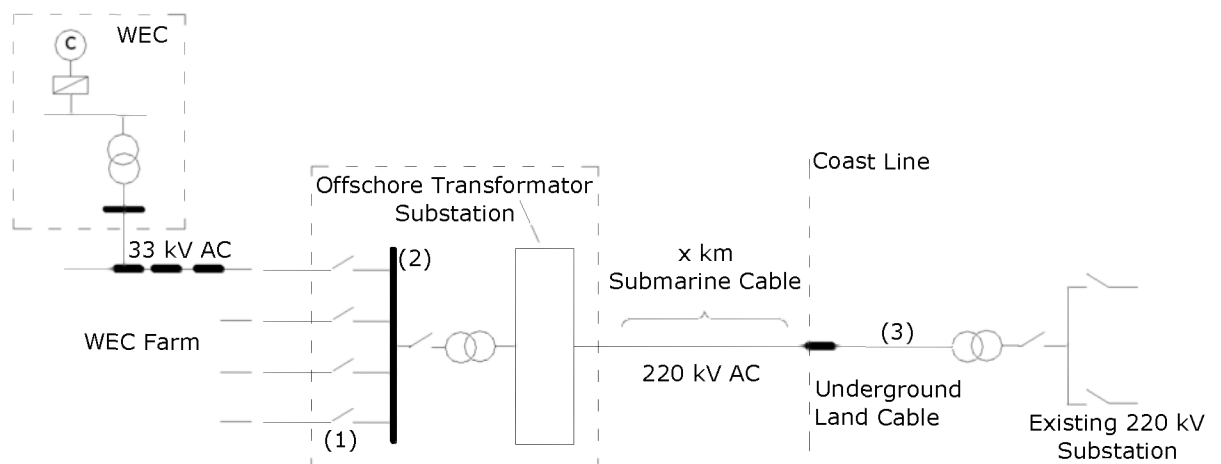


Figuur VIII-7: De aanlanding voorzien door C-power [56]

## VIII.4 Aansluiting op het bestaande elektriciteitsnet

### VIII.4.1 Connectie

Het kiezen van een kabel is niet voldoende om een golfenergieconvertorpark aan te sluiten op het bestaande elektriciteitsnet op land. Zowel onshore als offshore dienen maatregelen genomen om de omgezette golfenergie te transporteren. De verschillende onderdelen die bijdragen tot de connectie van een golfenergieconvertorpark tot het bestaande elektriciteitsnet zijn op Figuur VIII-8 op schematische wijze voorgesteld.



Figuur VIII-8: De connectie tussen een golfenergieconvertorpark en het elektriciteitsnet [79]

De verschillende componenten op Figuur VIII-8 worden kort verduidelijkt en indien de kostprijs gekend is, wordt deze meegegeven. Deze kostprijzen zijn ramingen en slechts benaderend geldig bij gebrek aan meer gedetailleerde informatie.

### VIII.4.2 Verbinding tussen de toestellen

De verbinding tussen de verschillende toestellen (WEC: Wave Energy Converter) zal gebeuren met 33kV kabels. De kostprijs van deze kabels bedraagt ongeveer 100.000 €/km [76]. De totale

lengte van de kabelverbinding tussen de toestellen hangt af van het aantal toestellen. Als basisregel kan aangenomen worden dat deze afstand gelijk is aan de vermenigvuldiging van het aantal toestellen met de afstand tussen de toestellen. Tijdens een gesprek met Pauwels Transformatoren werd duidelijk dat per 33 kV kabel ongeveer 20 Pelamissen kunnen worden aangesloten.

### ***VIII.4.3 Middenspanningsbord***

Het middenspanningsbord, in het Engels switchgear genoemd, is op Figuur VIII-8 aangeduid met het nummer (2). Een middenspanningsbord bestaat uit velden en op elk veld kan een kabel (1) aangesloten worden. Langs beide zijden van de transformator (§VIII.4.4) zal een middenspanningsbord geplaatst worden. Op het ene middenspanningsbord komen de 33 kV kabels toe die verbonden zijn met de toestellen, het andere middenspanningsbord heeft een uitgaande kabel met een hoger voltage naar het land. Tussen de kabels en de velden wordt een schakelaar geplaatst zodat de verbinding tussen de kabel en het middenspanningsbord verbroken kan worden indien nodig.

Er zullen evenveel velden geplaatst worden als er kabels toekomen en vertrekken. Er is echter wel een verschil in kostprijs. De velden verbonden met een 33 kV kabel kosten 40.000 €/veld, een veld verbonden met een uitgaande kabel van 150 kV kost 500.000 €/veld.

### ***VIII.4.4 Transformatorstation***

Een transformatorstation (weergegeven door de twee in elkaar verweven cirkels op Figuur VIII-8) zorgt voor de omzetting van het ene voltage-niveau naar het andere. Zo zullen de 33 kV kabels dienen omgezet naar het spanningsniveau van de onderzeese kabel naar land. Indien het voltage-niveau van de onderzeese kabel niet overeenstemt met het voltage-niveau van de gridconnectie aan land, dient ook een transformatorstation op land geplaatst te worden.

Een offshore transformatorstation dient geïnstalleerd te worden op een droge en beschermde plaats. Aldus gebeurt de installatie van het transformatorstation op een platform in zee op een zo kort mogelijke afstand van het park. De grootte van het platform wordt aangepast aan de afmetingen van het transformatorstation. De grootte van het transformatorstation is dan weer afhankelijk van het over te brengen vermogen en van de spanningsniveaus. Hoe hoger het vermogen en hoe groter het verschil in voltage-niveau, hoe groter het transformatorstation zal zijn. Een transformator van 160 MW die 33 kV omzet in 150 kV heeft een hoogte van 8 m, een breedte van 5 m en een lengte van 7 m (Pauwels Transformatoren). Het gewicht van zo'n transformator bedraagt ongeveer 140 ton. De afmetingen van het platform zijn dan bijvoorbeeld 16 x 13 x 23 m (h x b x l) en het gewicht bedraagt 670 ton [56]. De hoogte van het platform boven het zeeniveau bedraagt ongeveer 14 m [56]. In [78] wordt een prijs van 8.000 €/m<sup>2</sup>



vermeld voor een platform. De kostprijs van een transformatorstation wordt besproken in §IX.2.1.3.

Figuur VIII-9 toont de bouw en de installatie van een offshore transformatorstation [56].



**Figuur VIII-9: Constructie en installatie van een offshore transformatorstation [56]**

#### ***VIII.4.5 Onderzeese kabel***

De onderzeese kabel zorgt voor de overbrenging van de geproduceerde elektriciteit van het golfenergieconverteerparc naar het land. In §VIII.1.3.3 en §VIII.2.2 worden grootteordes vermeld van respectievelijk de kabelkosten en de aanlegkosten van de kabels.

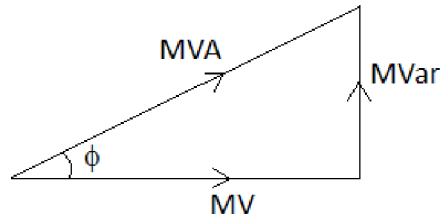
#### ***VIII.4.6 Landkabel***

De landkabel wordt aangelegd zoals andere landkabels en er wordt hier niet verder op ingegaan. De kostprijzen van de landkabels zijn vermeld in §VIII.1.3.3 en §IX.2.1.2.

#### ***VIII.4.7 Spoel***

Een spoel staat in voor de compensatie van het reactieve vermogen dat geproduceerd door toestellen of motoren die verbonden zijn met het elektriciteitsnet. De toestellen produceren als het ware elektriciteit en brengen dit over op het net zodat het net meer belast wordt.

Bij de bepaling van het vermogen wordt onderscheid gemaakt tussen het actieve [MW] en het reactieve vermogen [MVar]. Beide vermogens samen vormen het schijnbaar vermogen [MVA].



**Figuur VIII-10: Verband tussen het actieve en het reactieve vermogen**

Uit Figuur VIII-10 blijkt dat het schijnbaar vermogen functie is van  $\phi$ . De doelstelling van de energieleverancier is deze hoek  $\phi$  zo laag mogelijk te houden. Een lage  $\phi$  vergt immers minder maatregelen en aldus lagere kosten ter compensatie van het hoger ontwikkelde reactieve vermogen.  $\phi$  wordt gelijk aan 0 ondersteld en het schijnbare vermogen wordt dus gelijkgesteld aan het actieve vermogen.

Een plaatsing van de spoel op land verkiest de voorkeur boven deze op zee ter vermindering en vereenvoudiging van het onderhoud en voor de manuele bediening. De kostprijs van één spoel bedraagt ongeveer 500.000 € volgens Pauwels Transformatoren. Voor een heel park zal de kostprijs van de spoelen gelegen zijn tussen 2.000.000 € en 3.000.000 €.

### ***VIII.4.8 Aansluiting***

Tot slot, kan de netgebruiker zich aansluiten op het bestaande net m.b.v. een aansluitingsinstallatie of kortweg aansluiting. Dergelijke installatie bestaat uit één of meerdere velden, zoals vermeld in §VIII.4.3. De kost hiervoor dient door de netbeheerder betaald te worden en wordt dus verhaald op de belastingbetaler.

## **VIII.5 Verantwoordelijke netbeheerders**

### ***VIII.5.1 België***

Elia is in het bezit van alle Belgische netinfrastructuur van 150 tot 380 kV en nagenoeg 94% van de netinfrastructuur van 30 tot 70 kV [80]. Het resterende gedeelte en het laagspanningsnet is in het bezit van Eandis en andere lokale netbeheerders.

### ***VIII.5.2 Nederland***

In Nederland zijn er op dit moment meerdere netbeheerders, 22 in totaal. TenneT is de beheerder van het 380- en 220 kV transportnet en is door de toezichthouder DTe aangewezen als Transmission System Operator (TSO) [81].

### VIII.5.3 Duitsland

Meerdere netbeheerders zijn in Duitsland benoemd tot Transmission System Operator: EnBW, E.On, RWE en Vattenfall. Zij staan voornamelijk in voor het hoogspanningsnet in Duitsland. Figuur VIII-11 geeft een overzicht van de verdeling van het hoogspanningsnet in Duitsland [82].



Figuur VIII-11: Verdeling van het hoogspanningsnet in Duitsland [82]

# Hoofdstuk IX: Haalbaarheidsstudie

Het hoofdstuk van de haalbaarheidsstudie zal nagaan of golfenergie een toekomst heeft voor het BCP, DCP en NCP. Voor de Pelamis zal een park van verscheidene toestellen worden beschouwd. Voor de SSG en Wave Dragon wordt telkens één toestel in beschouwing genomen.

De eerste paragraaf geeft een bondig overzicht van alle mogelijke kosten en inkomsten. Verder worden enkele economische begrippen bondig uitgelegd.

In een volgende paragraaf worden m.b.v. de beschikbare data uit de literatuur en na gesprekken met bedrijven richtwaarden vastgelegd voor alle kosten en inkomsten. Gezien de richtwaarden veelal onzeker zijn wordt steeds een variatie op de prijzen in acht genomen.

Tot slot kan de eigenlijke haalbaarheidsstudie gebeuren op basis van de vastgelegde richtwaarden. De NPV en IRR zal worden bepaald en indien mogelijk wordt rekening gehouden met de variatie op de prijzen d.m.v. de bepaling van een S-curve.

## IX.1 Begrippen

In huidige paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van alle mogelijke kosten en inkomsten die in rekening worden gebracht bij de haalbaarheidsstudie. De vermelding van de specifieke kostprijzen gebeurt in §IX.2. Ook enkele begrippen zoals de netto actuele waarde, de interne rendementsgraad, het principe van een leercurve en een S-curve worden in huidige paragraaf nader omschreven.

### *IX.1.1 Kosten en inkomsten*

#### *IX.1.1.1 Initiële investeringskost*

De initiële investeringskost omvat zowel de kapitaal- als installatiekosten en dient bij aanvang van het project in mindering gebracht te worden. In wat volgt wordt een kort overzicht gegeven van welke factoren de kapitaal- en installatiekost bepalen.

Voor de kapitaalkosten worden volgende kosten in beschouwing genomen bij de haalbaarheidsstudie:

- De kost van de toestellen
- De kost van de kabel op zee en op land
- De kost van de kabel bij de aanlanding

- Een transformatorstation (§VIII.4.4) op zee en eventueel op land
- De kost van de velden (§VIII.4.3) op zee en eventueel op land
- De kost van een spoel (§VIII.4.7)
- De kost van een beveiligingspaneel
- De kost van een platform (§VIII.4.4)

Extra factoren die evenzeer in rekening kunnen gebracht worden, maar waarvan geen data beschikbaar waren, zijn:

- De bebakening & signalisatie van het golfenergieconverteerpark
- De kost van een controlesysteem op zee en / of op land
- Research & Development kosten of kortweg R & D kosten

De R & D kosten kunnen eventueel beschouwd worden als een percentage van de totale kost [17]. Gezien in de verder bepaling van de kostprijzen het niet steeds duidelijk was of de R & D kost al of niet in de gegeven kostprijzen zat vervat is de R & D kost verder niet in beschouwing genomen.

M.b.t. de installatiekosten wordt volgend onderscheid gemaakt:

- De aanlegkosten voor zee- en landkabels en voor de aanlanding
- De milieu- en bouwvergunning
- De kosten m.b.t. het projectmanagement
- De installatiekost van de toestellen
- De afbraakkosten
- De installatiekost van de verankering

Ook hier kunnen extra kosten in rekening gebracht worden waarvoor in huidige studie geen data beschikbaar waren:

- De kost van het personeel bij installatie
- De huur van sleepboten, haventerrein en heftoestellen op de kade
- De meerkost bij het kruisen van bestaande kabels op zee of op land

### ***IX.1.1.2 Verzekerings- en onderhoudskosten***

De kosten die over de duur van het project in mindering moeten gebracht worden, omvatten:

- De verzekering
- Het jaarlijks onderhoud
- Het tienjaarlijks onderhoud van het toestel
- Het tienjaarlijks onderhoud van de verankering
- Een onverwacht onderhoud

Ook bij de verzekerings- en onderhoudskosten kunnen nog kosten toegevoegd worden. Er waren opnieuw geen data ter beschikking ter bepaling van deze extra kosten:

- Balancing problem: dit heeft betrekking op boetes bij een onregelmatige levering van elektriciteit aan het grid
- Bebakening en signalisatie
- Controlesysteem op land / zee
  - ◆ Personeelskosten
  - ◆ Reserveonderdelen en reserveapparatuur
- Sociale productiekosten: lawaai, luchtvervuiling, visuele hinder, financiële vergoeding voor vissers, ...

### ***IX.1.1.3 Inkomsten***

De inkomsten zullen zowel bij aanvang als over de volledige duur van het project ontvangen worden. De inkomsten, die over de volledige duur van het project worden ontvangen, zijn:

- Elektriciteitsprijs (§IX.2.5.1)
- Groenestroomcertificaten (§IX.2.5.2)

De inkomsten, die bij aanvang verkregen worden, zijn:

- Subsidies (§IX.2.5.3)

### ***IX.1.2 Netto actuele waarde***

Om in te schatten of een investering al dan niet interessant is, wenst de investeerder de huidige waarde van de investering te kennen. De huidige waarde van een project wordt uitgedrukt m.b.v. de netto actuele waarde (NAW) van een investering of NPV (Net Present Value). In wat volgt zal steeds over de NPV gesproken worden. De NPV wordt als volgt geformuleerd [83]:

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^n} \quad [€] \quad (IX-1)$$

Waarbij:

- $CF_0$ : de initiële cashflow [€]
- $i$ : de intrestvoet [%]
- $n$ : het totaal aantal jaar waarover de investering beschouwd wordt [-].
- $CF_t$ : de toekomstige cashflows bestaande uit uitgaven (negatieve waarden) en inkomsten (positieve waarden) [€].

De initiële cashflow  $CF_0$  omvat de kapitaalkosten, de installatiekosten en kabelsubsidies. De kapitaal- en installatiekosten dienen bij aanvang van het project in mindering gebracht te worden. Er wordt verder aangenomen dat de kabelsubsidie ook bij aanvang van het project wordt ontvangen. Als enkel de installatie- en kapitaalkosten worden beschouwd dan wordt de NPV des te negatiever naarmate beide kosten stijgen.

De interestvoet  $i$  laat toe om de waarde van een in de toekomst te verwerven of in mindering te brengen bedrag te actualiseren of te verdisconteren. De interestvoet wordt daarom in wat volgt de discontovoet genoemd. De NPV daalt naarmate de discontovoet stijgt.

De toekomstige cashflows  $CF_t$  stellen de inkomsten (de groenestroomcertificaten en de prijs van elektriciteit) en de uitgaven (de verzekerings- en onderhoudskosten) voor die over de periode  $n$  dienen beschouwd te worden en die m.b.v. de discontovoet moeten geactualiseerd worden. De toekomstige cashflows hebben een gunstige invloed op de NPV indien de inkomsten groter zijn dan de uitgaven.

### ***IX.1.3 Interne rendementsgraad en paybackperiode***

De interne rendementsgraad of IRR (Internal Rate of Return) is de discontovoet  $i$  waarvoor de huidige nettowaarde van de investering gelijk aan nul wordt. De investering wordt pas interessant indien de beschouwde discontovoet kleiner is dan de IRR.

De paybackperiode stelt de benodigde tijd voor om de kosten terug te winnen. Het is de bedoeling om de paybackperiode zo kort mogelijk te houden om de initiële uitgaven zo snel mogelijk terug te winnen.

### ***IX.1.4 Leercurve***

Indien vele golfenergieconvertoren worden geproduceerd, zal uit de opgedane ervaring een leereffect (learning effect) ontstaan. De verworven kennis kan resulteren in een reductie van de kostprijzen en kan op zijn beurt leiden tot een concurrentie tussen de verschillende golfenergie technologieën. De onderlinge competitie kan op zijn beurt tot een verdere daling van de kostprijzen leiden [84].

Het leereffect drukt uit dat voor elke verdubbeling van de productie van het aantal toestellen de kost met een zeker percentage  $LR$  (Learning Rate, in %) daalt. Naast de term  $LR$  wordt ook vaak gebruikgemaakt van de term  $PR$  (Progression Rate, in %). Het verband tussen  $PR$  en  $LR$  wordt gegeven door vergelijking (IX-2) [85].

$$LR = 1 - PR \text{ [%]} \quad (IX-2)$$

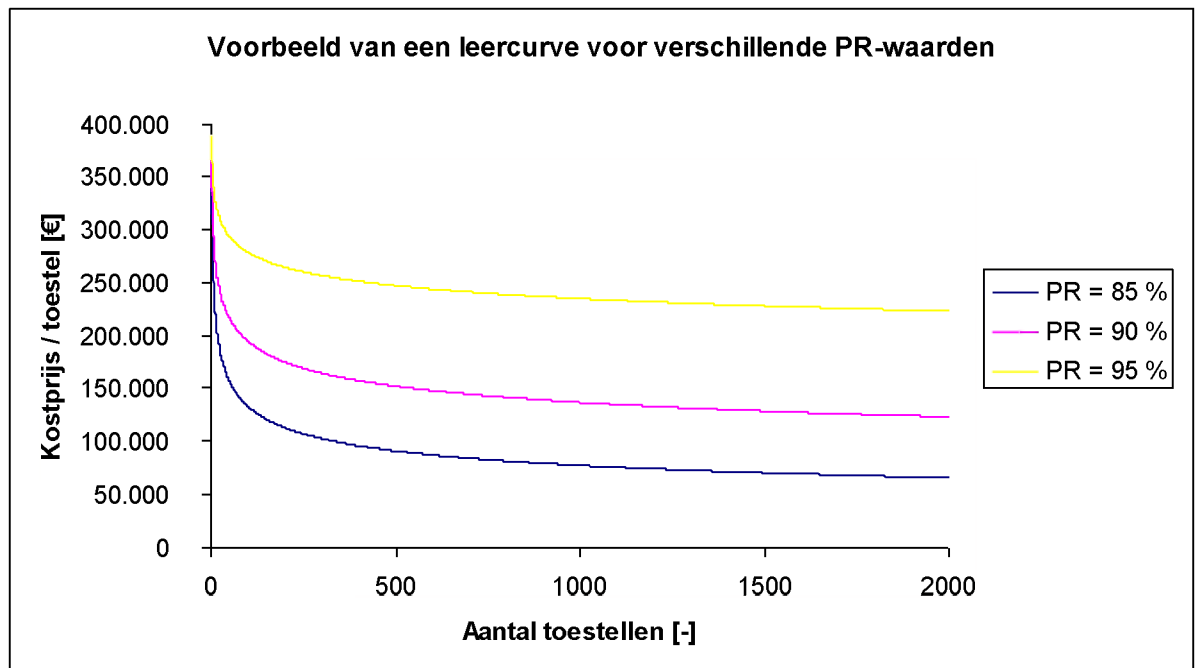
Indien de PR 90 % bedraagt dan zal bij elke verdubbeling van het aantal geproduceerde toestellen de kost met 10 % (i.e. de LR) dalen. De kost van een park, in functie van het aantal golfenergieconvertoren, kan mathematisch m.b.v. formule (IX-3) uitgedrukt worden [86].

$$C_m = C_1 \cdot m^{\left(\frac{\ln(PR)}{\ln(2)}\right)} \quad [\text{€}] \quad (\text{IX-3})$$

Waarbij:

- $C_1$ : de kost van de 1<sup>ste</sup> golfenergieconverteer [€]
- $m$ : het aantal te beschouwen golfenergieconvertoren [-]
- PR: de Progression Rate [%]
- $C_m$ : de kost van de m<sup>de</sup> golfenergieconverteer [€]

Figuur IX-1 geeft een voorbeeld van een leercurve voor 2.000 golfenergieconvertoren. De kostprijs voor eenzelfde aantal geproduceerde toestellen daalt naarmate de PR daalt. De leercurve begint steil en wordt naar het einde toe afgevlakt. Het steile begin volgt uit de grote winst in ervaring die geboekt wordt bij het maken van de eerste toestellen. Naarmate het aantal toestellen toeneemt, wordt de winst steeds kleiner en vlt de curve af.



Figuur IX-1: Leercurve voor 2.000 golfenergieconvertoren met een PR van 85, 90 en 95 %

### IX.1.5 Option analysis en S-curve

Option analysis [87] laat toe om de gevoeligheid van de factoren (i.e. de discontovoet, de initiële cashflow en de toekomstige cashflows), die de NPV bepalen, in rekening te brengen. Aan elke kostprijs van een factor die niet exact gekend is, wordt een minimum-, maximum, en

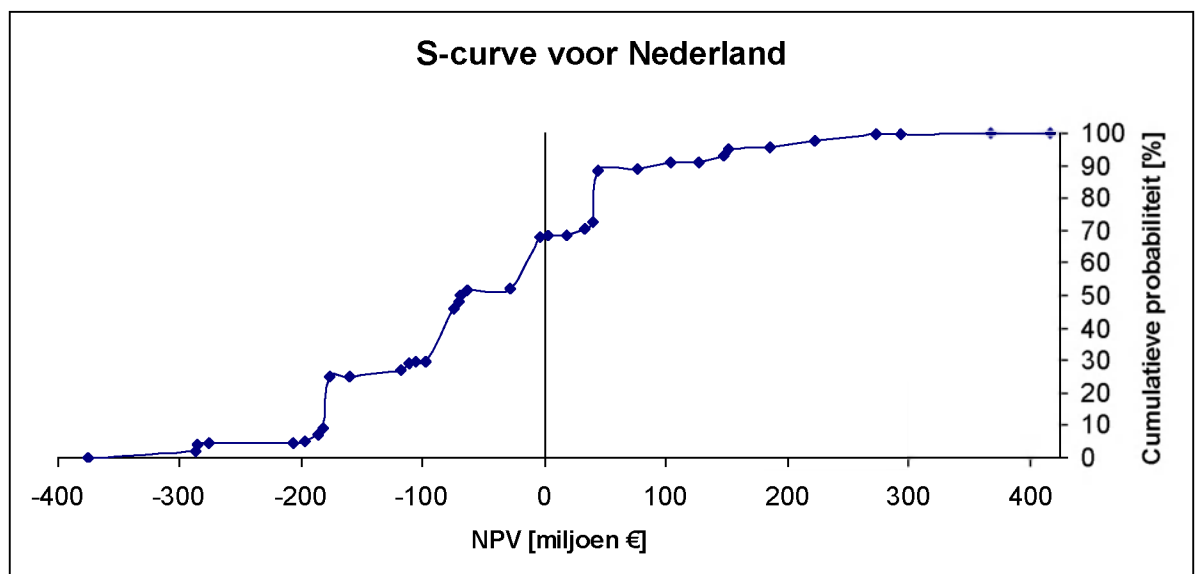


basiswaarde toegekend. De minimumwaarde wordt beschouwd als slechtste situatie, de maximumwaarde als beste situatie.

Uitgaande van de vastgelegde basiswaarde zal dan telkens de invloed van de variatie van één factor op de NPV bepaald worden. Er worden 8 gevallen / variaties beschouwd (§IX.2.4-IX.2.7).

- De kosten
  - ◆ De totale toestelprijs (kapitaal-, verzekering-, onderhoud-, en installatiekost) op basis van twee verschillende bronnen [84] en [86].
  - ◆ De kapitaal- en installatiekosten voor een land- en zeekabel en voor de aanlanding, de kapitaalkosten voor een transformatorstation, velden, spoelen, een beveiligingspaneel en een offshore-platform.
  - ◆ Eén kabel vs twee kabels
- De inkomsten
  - ◆ De elektriciteitsprijs
  - ◆ De prijs van de groenestroomcertificaten
  - ◆ De kabelsubsidie
- De discontovoet
- Het effect van de leercurve

Aan elke variërende factor wordt zowel voor de minimum-, de maximum- als de basiswaarde een waarschijnlijkheid toegekend. Aan het basisgeval, met uitzondering van de factor van de leercurven (§IX.2.7), zal steeds de grootste waarschijnlijkheid toegekend worden. Als een kostprijs volledig onzeker is, dan wordt hieraan een zeer lage waarschijnlijkheid toegekend. Het absoluut minimum van de probabilliteit toegekend aan de minimum- of maximumwaarde bedraagt 10 %.



Figuur IX-2: Voorbeeld van een S-curve (Nederland)

De NPV wordt vervolgens voor alle acht gevallen berekend. De 3 gevallen waarbij de variatie op de NPV het grootst is, worden uiteindelijk weerhouden. Voor deze 3 gevallen wordt een S-curve opgesteld. De S-curve beschrijft in functie van de NPV de cumulatieve probabiliteit. Figuur IX-2 geeft een voorbeeld van een S-curve.

De option analysis en S-curve zal enkel bepaald worden voor de Pelamis t.g.v. een gebrek aan informatie voor de SSG en Wave Dragon.

## **IX.2 Beschikbare gegevens en beschouwde variaties**

Alvorens er kan overgegaan worden tot de bepaling van de NPV voor enkele locaties dienen alle kostprijzen en inkomsten voor de basis-, minimum- en maximumsituaties vastgelegd te worden. Gezien de beperkte beschikbare informatie uit de literatuur is dit niet steeds even eenvoudig en dienden schattingen en aannames te gebeuren. Er zal ook een basiswaarde en variatie toegekend worden aan de discontovoet en het effect van de leercurven.

De data voor Wave Dragon en SSG waren respectievelijk heel beperkt en niet beschikbaar. Onder §IX.2.3.2 en §IX.2.3.3 wordt vermeld wat de economische studie voor deze toestellen inhoudt.

### ***IX.2.1 Kapitaalkosten***

#### ***IX.2.1.1 Toestelkosten***

##### **Pelamis**

Zowel de bepaling van de kapitaal- als installatiekost wordt in huidige paragraaf beschreven gezien de data als één geheel beschikbaar waren [84], [86]. De bepaling van de verzekering- en onderhoudskost voor het toestel wordt besproken in §IX.2.3.

Er wordt voor de bepaling van de kostprijs van het toestel zoals in [3] uitgegaan van het rapport van OPD (Ocean Power Delivery Ltd) [86] en van EPRI (Electric Power Research Institute) [84]. Meer recente data waren namelijk niet beschikbaar.

Het bedrijf OPD (de huidige naam is Pelamis Wave Power Ltd) ontwikkelt de technologie en produceert de schaalmodellen en het eerste prototype van de Pelamis. EPRI is een non-profit organisatie die onderzoek verricht op het terrein van de globale elektriciteitssector.

De berekening van de NPV zal steeds een waarde weergeven in € voor het jaar 2008. De kostprijzen die verder worden vermeld en niet in overeenstemming zijn met de aangenomen munteenheid en / of jaartal dienen herrekend te worden. De berekening gebeurt op basis van Tabel IX-1.

<b>Wisselkoersen [€] [88]</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2007</b>	<b>15 mei 2008</b>
Pond naar Euro	1,444	1,474	1,461	1,255
Dollar naar Euro	1,058	0,804	0,730	0,645
<b>Huidige waarde 15 mei 2008 [€] [89]</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2007</b>	<b>15 mei 2008</b>
Pond naar Euro	1,594	1,596	1,490	1,255
Dollar naar Euro	1,168	0,870	0,745	0,645

Tabel IX-1: Gebruikte wisselkoeren (\$, £ en €)

Tabel IX-2 biedt een overzicht van de kostprijzen (in €, 2008) voor 106 Pelamissen op basis van [84] en [86]. De prijzen in Tabel IX-2 zijn berekend op basis van beschikbare data uit 2004. Het rapport van EPRI gaf de kostprijzen weer in £, in het rapport van OPD werden de kostprijzen in \$ weergegeven. De omzetting van de kostprijzen naar € voor het jaar 2008 gebeurt op basis van Tabel IX-1. Er is rekening gehouden met een inflatie van 2 % [89].

Er wordt opgemerkt dat de totale kostprijs van 240 hoger uitvalt dan de kostprijs gegeven door OPD. De kostprijzen door OPD vermeld, worden als basis genomen met een waarschijnlijkheid van 80 % gezien het de producent van de Pelamis is. De kostprijzen van EPRI stellen de slechtste situatie of het minimum voor, hieraan wordt een probabiteit van 20 % toegekend.

	<b>OPD [€], (2008)</b>	<b>EPRI [€], (2008)</b>
<b>Kost van het toestel</b>		
* Hoofdstructuur	41.435.265	22.582.431
* Conversiemodule en Power take-off	28.751.000	57.559.602
* Instrumentatie en controle	2.536.853	
* Verankeringsysteem	10.147.412	10.781.896
<b>Totale kapitaalkost</b>	<b>82.870.530</b>	<b>90.923.928</b>
<b>Installatiekost</b>		
* Vergunningen + projectmanagement	797.753	4.625.258
* Sleepkosten	3.035.551	5.197.138
* Elektrische interconnectie	6.938.401	4.946.376
* Gridconnectie onshore	4.307.864	14.621.498
<b>Totale installatiekost</b>	<b>15.079.568</b>	<b>29.390.270</b>
<b>Verzekerings- en onderhoudskost</b>		
* Verzekering	2.818.726	2.270.283
* Jaarlijks onderhoud	1.734.600	3.389.400
* Onderhoud na 10 jaar aan het toestel	10.841.252	12.264.379
* Ongepland onderhoud	5.203.801	-
* Onderhoud na 10 jaar aan de interconnectie	2.168.250	-
<b>Totale onderhoudskost</b>	<b>22.766.629</b>	<b>17.924.063</b>
<b>Kost voor verwijdering</b>	<b>2.601.900</b>	<b>Zit bij de installatie</b>
<b>Totaal</b>	<b>244.035.354</b>	<b>276.476.521</b>

Tabel IX-2: Kostprijzen van de Pelamis

Uit Tabel IX-2 volgt dat de kostprijzen tussen de rapporten van EPRI en OPD onderling sterk verschillen. De oorzaak ligt in het feit dat aan bepaalde kosten een andere omschrijving wordt toegekend in de verschillende rapporten. Een meer gedetailleerde beschrijving van elke kostprijs afzonderlijk wordt weergegeven in [3], [84] en [86]. In wat volgt zullen enkel vier grote blokken van kostprijzen worden beschouwd:

- De totale kapitaalkost van het toestel
- De totale installatiekost van het toestel
- De onderhouds- en verzekeringskost van de Pelamis. De opsplitsing vermeld in Tabel IX-2 blijft behouden.
- De kost ter verwijdering van de Pelamis of demontagekost

De totale kapitaal- en de installatiekosten van de Pelamis dienen bij aanvang van het project in rekening gebracht te worden. Tot slot wordt de demontagekost van de Pelamis eenmalig in rekening gebracht. Dit geschiedt in het 20<sup>ste</sup> jaar.

### **SSG**

De toestelkost van de SSG is niet beschikbaar. Er wordt uitgegaan van de situatie waarbij de NPV gelijk aan nul wordt. Hieruit kan dan de maximale toestelkost van de SSG bepaald worden. De NPV wordt berekend m.b.v. de verder vastgelegde basiswaarden.

### **Wave Dragon**

Uit wat volgt, kan enkel een globale toestelkost voor de Wave Dragon worden weergegeven. De ArcGIS analyse levert namelijk dat de meest geschikte locatie voor de Wave Dragon aan de kust is gelegen te Oostende (Figuur VII-39). Hieruit volgt dat de kosten voor een kabel op zee, een transformatorstation, ... wegvallen.

Na een gesprek met Elia, kon besloten worden dat de kabel op land bestaat uit een eenvoudige elektriciteitskabel die aangesloten wordt op een bestaand stopcontact of een kleine batterij gezien het beperkte maximaal te transporteren vermogen (i.e. 20 kW). Dit impliceert dat de afstand tot de dichtstbijzijnde gridconnectie niet meer van belang is. Bijgevolg zal naar de toekomst toe, de factor afstand tot het grid niet meer in beschouwing moeten genomen worden in de ArcGIS-analyse.

De huidige studie beschouwt een schaalmodel voor onderzoek zodat de productie van het toestel dus niet het doel op zich is. Het 20 kW - toestel produceert in totaal slechts 8,38 kW (op basis van het gemiddelde uit Tabel III-11 voor de boei van Oostende) of 73,43 MWh/jaar.

Uit de inkomsten (in dit geval de elektriciteitsprijs en GSC), vastgelegd in €/MWh onder §IX.2.5.1 en §IX.2.5.2, volgt een jaarlijkse opbrengst van 6.976 €. De opbrengst is absoluut niet voldoende om de kosten voor het onderzoeksproject terug te winnen. In de literatuur worden namelijk volgende investeringsprijzen voor het project weergegeven:

- De onderzoekskosten bedragen meer dan 4 miljoen € voor het 1 : 4,5 schaalmodel (2008) [90].
- Voor een 4 MW Wave Dragon (Tabel II-1) bedraagt de installatiekost 2.415 €/kW en de turbinekost 900 €/kW (2007). Dit geeft een totale installatiekost van 9.660.000 € en een totale turbinekost van 3.600.000 € [26]. [91] vermeldt een toestelkost tussen 10 en 12 miljoen \$ (2004) voor hetzelfde type toestel.
- Voor een 188 m x 81 m model bedragen de totale constructiekosten 60.000.000 dkr (1997). De kosten voor de ontwikkeling van het toestel bedragen 3.000.000 dkr (1997) [29].

### ***IX.2.1.2 De kost van de kabel op zee, op land en voor de aanlanding***

Ter bepaling van de kostprijs zal de te overbruggen afstand op zee en op land steeds met een factor 1,25 vermenigvuldigd worden [78]. De factor houdt rekening met het feit dat de kortste afstand in realiteit nooit zal gevolgd kunnen worden. De kostprijs van de kabel zal afhankelijk zijn van 2 factoren:

- De capaciteit van het volledige park (in MW uitgedrukt)
- Het spanningsniveau van de dichtstbijzijnde gridconnectie op land. In de studie zijn de volgende spanningsniveaus van belang:
  - ◆ België: 150 kV
  - ◆ Duitsland: 220 kV
  - ◆ Nederland: 110 kV

De eerste factor, namelijk de capaciteit van het volledige park, bepaalt in grote mate de sectie van de kabel. De sectie van de kabel wordt in mm<sup>2</sup> uitgedrukt en heeft betrekking op de hoeveelheid koper die in de kabel aanwezig is. Naarmate de sectie toeneemt neemt overdraagbare capaciteit (MW) van de kabel toe (Tabel IX-3).

Het bestaande spanningsniveau van de gridconnectie resulteert steeds in twee afwegingen bij de kabelkeuze. Enerzijds kan er gekozen worden voor een kabel met hetzelfde spanningsniveau als de bestaande dichtstbijzijnde gridconnectie. Anderzijds kan voor een ander type kabel (in dit geval een kabel met een hoger spanningsniveau) gekozen worden. De laatste keuze brengt echter steeds een extra transformatorcost met zich mee. Naarmate het spanningsniveau toeneemt, stijgt ook de overdraagbare capaciteit (in MW) van de kabel. Tabel IX-3 werd bepaald op basis van de eigenschappen besproken in §VIII.1.3.

sectie [mm <sup>2</sup> ]	DC-type [MW] [70]	AC-type [MW]			
	150 kV	110 kV	150 kV	220 kV	420 kV
300	199	86	117	172	328
400	230	99	135	198	379
500	265	114	156	229	436
630	307	132	181	265	506
800	353	152	208	305	581
1000	401	173	236	346	660
2000	586	253	345	506	965
2500	667	288	392	575	1099

**Tabel IX-3: Vermogens [MW] bij verschillende kabeltypes**

De beschikbare kabelprijzen uit de literatuur worden in Tabel IX-4 weergegeven. Er werd evenzeer contact opgenomen met Nexans, tot op heden zijn echter geen kabelkostprijzen van Nexans ontvangen.

Bron	Specificatie - Type kabel	Kostprijs	Eenheid	Jaar
<b>Offshore</b>				
[78]	AC, 380 kV (600mm <sup>2</sup> ) (incl. aanlegkost)	1.200.000	€ / km	2003
[78]	AC, 150 kV (600mm <sup>2</sup> ) (incl. aanlegkost)	2.100.000	€ / km	2003
[55]	AC, 150 kV (630mm <sup>2</sup> ) (incl. aanlegkost & aanlandingskost)	1.200.000	€ / km	2003
[90]	AC, 24 kV (300mm <sup>2</sup> )	100.000	€ / km	2007
[90]	AC, 36 kV (300mm <sup>2</sup> )	<b>100.000</b>	€ / km	2007
[90]	AC, 420 kV (630mm <sup>2</sup> )	<b>500.000</b>	€ / km	2007
[90]	AC, 420 kV (800mm <sup>2</sup> )	<b>772.500</b>	€ / km	2007
[90]	AC, 420 kV (1000mm <sup>2</sup> )	<b>907.500</b>	€ / km	2007
[90]	AC, 420 kV (2000mm <sup>2</sup> )	<b>1.312.500</b>	€ / km	2007
[90]	AC, 420 kV (2500mm <sup>2</sup> )	<b>1.920.000</b>	€ / km	2007
<b>Onshore</b>				
[69]	all-in (reparatie ook) AC, 115 kV (630mm <sup>2</sup> )	<b>2.174.805</b>	\$ / km	2003
[69]	all-in (reparatie ook) AC, 115 kV (800mm <sup>2</sup> )	<b>3.044.726</b>	\$ / km	2003
<b>Aanlanding</b>				
[78]	all-in 150 kV (geen verdere specificatie)	<b>3.800.000</b>	€ / km	2003
[78]	all-in 380 kV (geen verdere specificatie)	<b>2.000.000</b>	€ / km	2003

**Tabel IX-4: Kabelprijzen en specificaties**

De prijzen vermeld in [78] zijn steeds hoger voor een lagere spanning (380 kV vs 150 kV). De beschikbare informatie lijkt daarom niet betrouwbaar en wordt met uitzondering van de

aanlandingskost verder niet in rekening gebracht. Voor de aanlandingskost is dit de enige beschikbare bron. Een gemiddelde van de twee prijzen vernoemd in [78] wordt genomen als basiswaarde. Voor elke locatie zal de aanlandingskost steeds over 1 km beschouwd worden. Voor de Thorntonbank bedraagt de afstand 800 m (Figuur VIII-7). Verdere kostprijzen omtrent de aanlanding zijn onbekend.

De prijzen vermeld in [55] hebben betrekking op dezelfde studie als [78] maar zijn veel lager terwijl deze prijzen ook alle installatiekosten bevatten. Er wordt verder geen rekening gehouden met de prijzen vermeld in [55]. De enige prijzen die overblijven ter bepaling van de kabelkost op zee worden aldus door [90] gegeven en gelden in deze haalbaarheidsstudie als basiswaarde.

De prijzen vermeld door [69] zijn de enige beschikbare landprijzen en worden verder als basiswaarde aangenomen.

Ter verduidelijking zijn de prijzen waarmee in de haalbaarheidsstudie wordt gerekend in vet aangeduid in Tabel IX-4.

### ***IX.2.1.3 De kost van een transformatorstation op zee of op land***

#### **Pelamis**

Indien de spanning van de kabel overeenstemt met de spanning aan de dichtstbijzijnde gridconnectie wordt één transformator voorzien (§VIII.4.4). Als er voor een kabel wordt gekozen met een spanning verschillend van de spanning aanwezig op het bestaande grid dient een extra transformator geïnstalleerd te worden op land.

De kost voor een transformator werd bepaald na een gesprek met de firma Pauwels Transformatoren. De kostprijzen die worden vermeld gelden als basiswaarde en vormen slechts een raming ter bepaling van de grootteorde van kost:

- Voor een 33 kV – 70 kV transformator voor 20 MW: 280.000 € (2008)
- Voor een 33 kV – 70 kV transformator voor 80 MW: 910.000 € (2008)
- Voor een 33 kV – 70 kV transformator voor 160 MW: 1.400.000 € (2008)
- Voor een 33 kV – 150 kV transformator voor 20 MW: 400.000 € (2008)
- Voor een 33 kV – 150 kV transformator voor 80 MW: 1.300.000 € (2008)
- Voor een 33 kV – 150 kV transformator voor 160 MW: 2.000.000 € (2008)

Een eenvoudige vuistregel die kan toegepast worden ter bepaling van de kostprijs van een transformator van 33 kV – 150 kV (transformator 1 (in €)) indien de kostprijs voor een transformator van 33 kV – 70 kV gekend is (transformator 2 (in €)), werd door Pauwels Transformatoren gegeven en wordt in formule (IX-4) gegeven.

$$\text{transformator 2} = 0,7 \cdot \text{transformator 1} \quad [\text{€}] \quad (\text{IX-4})$$

De regel geldt enkel voor transformatoren met eenzelfde capaciteit (in MW). De kostprijzen werden gevraagd op basis van de vermogens berekend onder [3] (i.e. 80 MW voor een park van pelamissen) en voor het vermogen van één SSG (i.e. 20 MW). Gezien de ArcGIS-analyse heeft geleid tot gebieden met een nog veel groter geïnstalleerd vermogen zal voor hogere vermogens (in MW) evenzeer een vuistregel toegepast worden. De vuistregel (IX-5) is door de auteurs zelf vastgelegd ter bepaling van een grootteorde van de kosten en is slechts benaderend geldig.

$$\text{transformator } a = \frac{3}{4} \cdot \text{transformator } b \cdot \frac{P_a}{P_b} \quad [\text{€}] \quad (\text{IX-5})$$

Waarbij:

- Transformator a: ongekende kostprijs voor transformator a [€]
- Transformator b: gekende kostprijs voor transformator b [€]
- $P_a$ : maximaal vermogen van transformator a [MW]
- $P_b$ : maximaal vermogen van transformator b [MW]

De regel wordt enkel toegepast voor transformatoren die eenzelfde spanningsverschil omzetten en is slechts een benadering en enkel geldig bij overgang naar een hoger vermogen. In de literatuur worden voorts nog enkele kostprijzen van transformatoren weergegeven. Het is echter niet duidelijk of deze prijzen al dan niet de kosten voor velden, spoelen en een offshore platform bevatten. De kostprijzen worden dan ook niet verder in beschouwing genomen.

- Voor een 33 kV – 115 kV transformator voor 420 MW [69]: 12.000.000 \$ (2003)
- Voor een 150 kV – 380 kV transformator voor 500 MW [78]: 6.800.000 € (2003)
- Voor een 36 kV – 420 kV transformator voor 545 MW [90]: 15.000.000 € (2007)

## SSG

De 20 MW – SSG bevindt zich langs de kust in Duitsland en dient dus enkel over een transformatorstation op land te beschikken (Figuur VII-31). De 20 MW kan getransporteerd worden m.b.v. een 33 kV – AC kabel (300 mm<sup>2</sup>).

De spanning op het bestaande grid in Duitsland bedraagt 220 kV. Er dient dus een 33 kV – 220 kV transformator geïnstalleerd te worden. De kostprijs wordt bepaald aan de hand van formule (IX-4).

### **IX.2.1.4 De kost van de velden**

Per land- of zeekabel moet voor de connectie met de transformator een veld in beschouwing genomen worden (§VIII.4.3). Uit het gesprek met Pauwels Transformatoren werd een grootteorde van kostprijs voorgesteld per veld: 500.000 € (2008).



Evenzeer is een veld nodig ter connectie van een lus van 20 toestellen (in het geval van de Pelamis) of ter connectie van één toestel (in het geval van de SSG) op het middenspanningsbord. In dit geval werd een grootteorde van 40.000 €/veld voorgesteld (2008).

De vooropgestelde waarden worden als basisgeval beschouwd.

### ***IX.2.1.5 De kost van een compensatiespoel***

Ter compensatie van het reactief vermogen (§VIII.4.7) dient een compensatiespoel (static far compensator) op land of op zee voorzien te worden. Uit het gesprek met Pauwels Transformatoren werd een grootteorde tussen 2.000.000 € en 3.000.000 € voorgesteld (2008). Als basiswaarde wordt daarom 2.500.000 € aangenomen. De kostprijs geldt voor een groot park golfenergieconvertoren. Indien slechts 1 toestel (bv SSG) beschouwd wordt, kan worden uitgegaan van een lagere kostprijs: 500.000 €.

### ***IX.2.1.6 De kost van een beveiligingspaneel***

Voor de transformator op zee (enkel voor de Pelamis m.a.w.) dient evenzeer een beveiligingspaneel geïnstalleerd te worden. Opnieuw werd door Pauwels Transformatoren een grootteorde voorgesteld die verder als basiswaarde dient voor de berekeningen: 100.000 € (2008).

### ***IX.2.1.7 De kost van een offshore platform***

Het offshore platform laat toe de transformator op zee te installeren. Met betrekking tot de kost van een offshore platform op zee wordt enkel in [78] een kostprijs vermeld: 8.000 €/m<sup>2</sup> (2003).

[56] vermeldt een benodigde oppervlakte van 300 m<sup>2</sup> maar vermeldt niet hoeveel transformatoren op dit platform geïnstalleerd worden. Er wordt daarom als basiswaarde van 2.400.000 € (2003) uitgegaan voor alle beschouwde situaties. De verschillende afmetingen worden vermeld in §VIII.4.4.

## ***IX.2.2 Installatiekosten***

Ter bepaling van de installatiekosten was de informatie uit de literatuur beperkt.

### ***IX.2.2.1 Installatiekost voor het toestel***

De installatiekost voor de Pelamis is reeds onder §IX.2.1.1 in Tabel IX-2 vervat. Voor de Wave Dragon was een grondige haalbaarheidsstudie niet mogelijk en wordt enkel een totaalprijs van het project voorgesteld (§IX.2.1.1) op basis van gegevens uit de literatuur. De installatiekost voor de SSG zit vervat in de globale prijs die voor het toestel zal bepaald worden.

### ***IX.2.2.2 De installatiekost van de kabel op zee***

De installatiekost voor de aanleg van een kabel op zee is functie van de locatie. Dient een vaarroute overbrugd te worden dan moet een geul in de vaarroute gebaggerd worden waarin de kabel wordt gelegd. Voor de diepte van de geul wordt uitgegaan van 4 m.

De kabel wordt m.b.v. van de techniek van het ploegen aangelegd als deze zich niet in een vaarroute bevindt. Na een gesprek met Prof. dr. Ir. De Rouck worden volgende prijzen voor het basisgeval aangenomen:

- Voor de techniek van het baggeren: 1.000.000 €/km (2007).
- Voor de techniek van het ploegen of jetting: 100.000 €/km (2007).

Er wordt opgemerkt dat de techniek van het baggeren veel (tien maal) duurder is dan de techniek voor het ploegen of jetting. Er wordt daarom net als in [51] aangenomen dat een vaarroute steeds doorkruist zal worden onder een hoek van 90° om op die manier de afstand minimaal te houden en de kosten te drukken. De factor 1,25 die in rekening wordt gebracht bij de te overbruggen kabelafstand (§IX.2.1.2), zal dus niet worden toegepast op de af te leggen afstand over een vaarroute.

In [90] wordt een onderscheid gemaakt tussen een vaste en een variabele kost bij de aanleg van de kabel op zee. De vaste kost bedraagt 500.000 € (2007), de variabele kost is 50.000 €/km (2007). Het is echter onbekend of de kost al of niet betrekking heeft op het baggeren dan wel op het ploegen. Gezien het geringe bedrag wordt ervan uitgegaan dat de waarden de kosten voor het ploegen betreffen. De meest geschikte locaties (§IX.3) bevinden zich op 32 km van de kust of meer. Rekening houdend met de factor 1,25 impliceert dit dat de kostprijs per km steeds lager zal liggen voor de prijzen vermeld in [90] in vergelijking met de aangenomen basiswaarde. De aanname voor het basisgeval wordt aanhouden en is dus veilig. Gezien de tien maal hogere baggerkost en de aanwezigheid van te overbruggen vaarroutes zal het belang van de kostprijs voor het ploegen algemeen niet primeren.

### ***IX.2.2.3 De installatiekost van een kabel op land***

Voor de installatiekost van de kabel op land is voor het basisgeval uitgegaan van [69].

- Voor een AC-kabel van 630 mm<sup>2</sup> en 115 kV: 1.800.000 \$/mijl (2003)
- Voor een AC-kabel van 800 mm<sup>2</sup> en 115 kV: 2.600.000 \$/mijl (2003)

De prijzen zijn omgezet in € voor 2008 m.b.v. Tabel IX-1.

### ***IX.2.2.4 De installatiekost bij aanlanding***

De installatiekost bij aanlanding zit reeds vervat in de prijs van de kabel voor de aanlanding.

## ***IX.2.3 Verzekering- en onderhoudskosten***

### ***IX.2.3.1 Pelamis***

De onderhouds- en verzekeringskosten worden gespreid over de levensduur van het project. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 20 jaar. De onderhouds- en verzekeringskosten voor de Pelamis worden weergegeven in Tabel IX-2. De kost voor de verzekering van het toestel is functie van de kapitaal- en installatiekost van het toestel. In [84] wordt voor de verzekeringskost van het toestel uitgegaan van 2 % van de totale kapitaal- en installatiekost van het toestel samen. Dit bedrag voor de verzekering dient elk jaar betaald te worden over de volledige duur van het project.

In wat volgt, zal in plaats van een verzekeringskost voor het toestel een totale verzekeringskost in beschouwing genomen worden. De verzekeringskost bedraagt 2 % van alle kapitaal- en installatiekosten. De volledige kapitaal- en installatiekosten omvatten naast de kapitaal- en installatiekost voor de toestellen ook de kosten vermeld in §IX.2.1.2 - §IX.2.1.7 en §IX.2.2.2 - §IX.2.2.4. Het bedrag voor de totale verzekering dient elk jaar betaald te worden over de volledige duur van het project.

### ***IX.2.3.2 Wave Dragon***

Voor de Wave Dragon was zoals onder §IX.2.1.1 beschreven, een prijsanalyse niet mogelijk en worden slechts enkele totaalprijzen uit de literatuur gegeven.

### ***IX.2.3.3 SSG***

Met betrekking tot de SSG kan gesteld worden dat de verzekerings- en onderhoudskosten vervat zitten in de globale kostprijs die voor het toestel zal bepaald worden.

## ***IX.2.4 Variaties op de kosten***

De variatie die beschouwd wordt op het verschil in kostprijs tussen de rapporten van EPRI en OPD werd reeds onder §IX.2.1.1 vermeld.

Gezien de onzekerheid groot is m.b.t. de kapitaal- en installatiekosten voor een land- en zeekabel en voor de aanlanding, de kapitaalkosten voor een transformatorstation, velden, spoelen, een beveiligingspaneel en een offshore-platform wordt een globale variatie beschouwd op de som

van de kostprijzen samen. Als basisgeval wordt uitgegaan van de in §IX.2.1.2 - §IX.2.1.7 en in §IX.2.2.2 - §IX.2.2.4 vermelde kostprijzen. Een waarschijnlijkheid van 80 % wordt aan dit basisgeval toegekend. Als slechtste (minimum) en beste situatie (maximum) worden de kostprijzen met 20 % verhoogd, respectievelijk verlaagd. Aan beide situaties wordt een waarschijnlijkheid van 10 % toegekend.

Een derde variatie die evenzeer beschouwd wordt, heeft enkel betrekking op de kabel. Als basisgeval wordt er van uitgegaan dat steeds twee kabels aangelegd worden. Bij een defect aan de kabel kan dan steeds gebruikgemaakt worden van de 2<sup>de</sup> kabel. Een extra kabel laat ook toe om het bestaande park in een latere fase uit te breiden naar een grotere capaciteit. Zo worden bij het offshore windmolenpark op de Thornton bank minstens twee kabels aangelegd [56]. Een waarschijnlijkheid van 80 % wordt toegekend aan het basisgeval. De tweede situatie (optimum of maximum) beschouwt slechts de installatie- en kapitaalkost van één kabel. Een waarschijnlijkheid van 20 % wordt aan het maximum toegekend.

## ***IX.2.5 Variaties op de inkomsten***

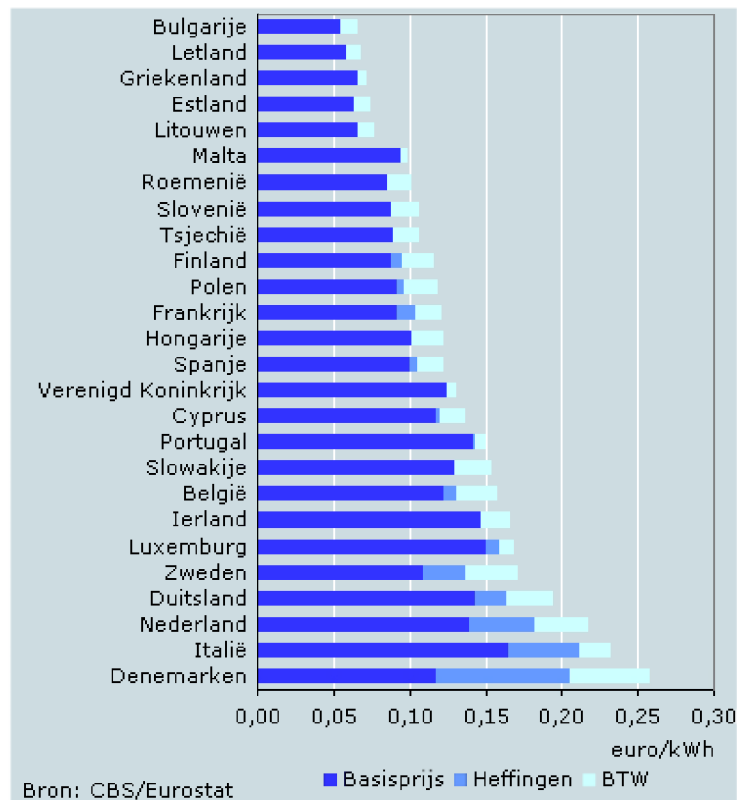
### ***IX.2.5.1 Elektriciteitsprijs***

De geproduceerde elektriciteit is de 1<sup>ste</sup> bron van inkomsten. Ter bepaling van de prijs die werkelijk wordt verkregen, dienen vier kostfactoren in rekening gebracht te worden [3]:

- De heffingen
- De transmissiekosten
- De distributiekosten
- De productiekosten

De vier kostfactoren worden uitvoerig besproken in [3] en [93]. De inkomsten die overblijven na aftrek van de vier kosten zijn niet algemeen gekend en variëren. In [3] wordt uitgegaan van 60 €/MWh als basissituatie met een waarschijnlijkheid van 80 %. De uiterste gevallen die in beschouwing worden genomen zijn 40 €/MWh (slechtste situatie, minimum) en 80 €/MWh (beste situatie, maximum) met elk een kans van 10 %. In huidige studie worden dezelfde waarden aangenomen voor België.

Voor Nederland en Duitsland werd enkel de informatie in Figuur IX-3 gevonden. De donkerblauwe kleur stelt de basisprijs voor zonder de heffingen maar wel met inbegrip van de transmissie- distributie- en productiekosten. Voor België, Nederland en Duitsland variëren de basisprijzen tussen 110 €/MWh en 130 €/MWh. Vermits het onderling verschil op de grafiek gering is en verder geen informatie beschikbaar is, wordt voor Nederland en Duitsland van dezelfde onderstelling uitgegaan als voor België ter bepaling van de inkomsten uit de elektriciteitsprijs.



Figuur IX-3: Elektriciteitsprijzen in Europa [93] (mei 2008)

### IX.2.5.2 Groenestroomcertificaten

#### België

Een groenestroomcertificaat, afgekort tot GSC, is een certificaat dat aangeeft dat in 1 jaar tijd door de producent 1 MWh elektriciteit is opgewekt met behulp van een hernieuwbare energiebron, in dit geval golfenergie. Het certificaat is enkel geldig indien erkend door de VREG, de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. Het certificaat wordt op de markt voor de groenestroomcertificaten aangeboden en kan worden aangekocht door een certificaatplichtige. Elke stroomleverancier is een certificaatplichtige en kan op 2 manieren voorzien in dergelijke certificaten:

- door aankoop van certificaten op de certificatenmarkt
- door zelf groene stroom te produceren en aldus GSC te verkrijgen

De stroomleverancier moet er tevens voor zorgen dat jaar op jaar het aandeel van de groene energie stijgt in het totale aangeboden elektriciteitspakket: het vooropgestelde quotum bedraagt 6 % tegen 2010. Als een minimum aan groenestroomcertificaten niet wordt behaald, dan zal de leverancier een boete dienen te betalen. De boete is evenredig met het aantal ontbrekende certificaten en wordt gestort in een fonds voor hernieuwbare energie [94].

In [3] wordt beschreven hoe het boetesysteem en de financiering van de GSC werken en mede de markt onder controle houden. In de huidige scriptie wordt hier echter niet verder op ingegaan.

De minimumprijzen voor GSC variëren naargelang het type groene stroom dat aangewend wordt. Voor golfenergie wordt een prijs van 95 €/MWh (2008) vermeld [94]. Ter vergelijking wordt voor onshore windenergie een bedrag van 80 €/MWh en voor offshore windenergie 107 €/MWh in rekening gebracht [94]. De bijdrage voor offshore windenergie blijft slechts geldig indien het park een capaciteit kleiner dan 216 MW vertoont. Een windmolenpark met een grotere capaciteit levert nog slechts 90 €/MWh op voor het vermogen geproduceerd boven de 216 MW. Voorts zal de prijs door speculaties op de markt nog verder schommelen [3].

In de haalbaarheidsstudie zal worden uitgegaan van volgende gevallen m.b.t. de GSC:

- 95 €/MWh: basisgeval of basis (met als kans 80 %)
- 107 €/MWh: de beste situatie of maximum (met als kans 20 %)

### **Nederland**

Uit [56] volgt dat voor de bouw van het offshore windmolenpark Egmond aan Zee een subsidie van 97 €/MWh is toegestaan. De subsidie is gelijkaardig aan de GSC. Na een gesprek met Elia kon besloten worden dat er momenteel geen 100 % garantie is op subsidies in Nederland. Volgende gevallen worden daarom in aanmerking genomen:

- 0 €/MWh: 1<sup>ste</sup> basisgeval
- 97 €/MWh: 2<sup>de</sup> basisgeval

Aan beide gevallen wordt een waarschijnlijkheid van 100 % toegekend omdat uit §IX.3.1.2 volgt dat een toekenning van 0 €/MWh als GSC niet zinvol is. De gevallen worden verder dus los van elkaar besproken.

### **Duitsland**

In [95] wordt uitgegaan van een bedrag van 91 €/MWh voor een minimumperiode van 12 jaar. In [56] wordt per MWh geproduceerde groene elektriciteit een bedrag toegekend. Het bedrag is functie van het aantal jaar (in totaal steeds 20 jaar) en van de locatie:

- Voor het offshore windmolenpark te Borkum West wordt de eerste 14 jaar 91 €/MWh toegekend. Aan de volgende en resterende 6 jaar wordt een bedrag van 61,9 €/MWh toegekend.
- Voor het offshore windmolenpark te Butendiek zijn de bedragen hetzelfde maar bedraagt de eerste periode 12 jaar en de tweede periode 8 jaar.

Er wordt in huidige scriptie uitgegaan van volgende gevallen:

- 91 €/MWh gedurende de eerste 12 jaar; 61,9 €/MWh gedurende de resterende acht jaar: basisgeval of basis (met een waarschijnlijkheid van 80 %)
- 91 €/MWh gedurende 20 jaar: beste situatie of maximum (met een kans van 20 %)

### ***IX.2.5.3 Subsidies***

De subsidies hebben betrekking op een compensatie van de hoge kabelkost. Er wordt verondersteld dat de subsidie onmiddellijk wordt ontvangen. In [56] wordt voor de bouw van het windmolenpark op de Thorntonbank een subsidie van  $\frac{1}{3}$  van de kabelkost vermeld met als absoluut maximum 25 miljoen €. Voor Nederland wordt een subsidie van 27 miljoen € vermeld voor het windmolenpark Egmond aan Zee. Tot slot, wordt voor Duitsland geen subsidie vermeld. Uit een gesprek met Elia bleek echter dat een kabelsubsidie wel tot de mogelijkheden behoort. Opmerkelijk is dat voor Denemarken voor de parken Horns Rev en Nysted een volledige vergoeding van de gridkosten wordt vermeld.

Voor de verdere berekeningen zal van volgende gevallen worden uitgegaan:

België

- Eén derde van de kabelkost met als maximum 25 miljoen €: basisgeval of basis (met een kans van 80 %)
- De helft van het bedrag van het basisgeval: slechtste situatie of minimum (met een kans van 20 %)

Nederland

- 27 miljoen € kabelsubsidie: basisgeval of basis (met een kans van 80 %)
- 13,5 miljoen € kabelsubsidie: slechtste geval of minimum (met een kans van 20 %)

Duitsland

- 0 € kabelsubsidie: basisgeval of basis (met een kans van 80 %)
- Eén derde van de kabelkost met als maximum 25 miljoen €: beste situatie of maximum (met een kans van 20%)

### ***IX.2.6 Variatie op de discontovoet***

De discontovoet of interestvoet wordt bepaald door de markt ten gevolge van de evolutie van vraag en aanbod [96]. De discontovoet wordt bepaald door een overeenkomst tussen lener en ontlenner. In de discontovoet kan al of niet de inflatie in rekening gebracht worden. De inflatie geeft de waarde van het geld weer op basis van zijn koopkracht. De koopkracht stelt de hoeveelheid goederen en diensten voor die met de waarde van het geld kunnen gekocht worden.

Als de prijzen stijgen, daalt de koopkracht en de waarde van het geld. Bij een stijging van de prijzen wordt over inflatie gesproken [3].

In de literatuur wordt uitgegaan van volgende discontovoeten (waarbij de inflatie niet in rekening is gebracht):

- 8 % - 15 %: op basis van [86]
- 8 % - 12 % - 20 %: op basis van [3]
- 8 % - 15 %: op basis van [97]
- [85] maakt zelf een onderscheid tussen verschillende discontovoeten:
  - ◆ 5 %: verplichting door de overheid (in het Verenigd Koninkrijk)
  - ◆ 8 %: op basis van resultaten van de Carbon Trust voor een volledige ontwikkelde golfenergie [98]
  - ◆ 10 %: op basis van de berekeningen van WaveNet [99]
  - ◆ 15 %: op basis van resultaten van de Carbon Trust voor een golfenergie die nog jong is en in ontwikkeling is [98]
  - ◆ 25 %: voor een gewaagde onderneming

In huidige scriptie zal daarom worden uitgegaan van de volgende discontovoeten:

- 6 % : de beste situatie of maximum (met een kans van 10 %)
- 10 %: het basisgeval of basis (met een kans van 80 %)
- 13 %: de slechtste situatie of minimum (met een kans van 10 %)

In de aangenomen discontovoeten is reeds een inflatie van 2 % in rekening gebracht. De waarde van 2 % volgt uit de literatuur [89].

Indien de inflatie los van de discontovoet wordt bekeken, bedraagt de aangenomen discontovoet respectievelijk 8 %, 12 % en 15 %. Het verband tussen een discontovoet met inflatie en een discontovoet zonder inflatie wordt namelijk gegeven door formule (IX-6).

$$d_z = d_m - i \text{ [%]} \quad (\text{IX-6})$$

Waarbij:

- $d_z$ : discontovoet zonder het effect van de inflatie [%]
- $d_m$ : discontovoet met het effect van de inflatie [%]
- $i$ : de in rekening genomen inflatie [%]

### ***IX.2.7 Variatie op de leercurve***

In de literatuur wordt uitgegaan van volgende percentages voor de PR (Progression Rate, §IX.1.4):



- 82 % : afgeleid op basis van de ervaring uit de wind- en zonne-energie en uit de bouw van offshore gas- en olieplatformen [84].
- 85 %: op basis van de globaal geïnstalleerde capaciteit (in GW) [100].
- 90 % - 95 %: als minimale en maximale waarde op basis van het toegenomen belang van golfenergie [86].
- 100 %: er wordt geen leereffect in rekening gebracht, de technologie van de golfenergie wordt nog als te jong beschouwd [85].

In wat volgt zullen vier gevallen beschouwd worden:

- PR = 85 %: de beste situatie of maximum (met een kans van 25 %)
- PR = 90 %: de basissituatie of basis (met een kans van 25 %)
- PR = 95 %: een tussengeval (met een kans van 25 %)
- PR = 100 %: de slechtste situatie of minimum (met een kans van 25 %)

De leercurve wordt enkel toegepast op de helft van de kapitaalkosten van het toestel. Er wordt slechts een leereffect van 50% op de kapitaalkosten toegepast vermits op de materialen van het toestel zelf (staal, glasvezel, ...) geen reductie in kost kan worden toegepast.

Het effect van de leercurve wordt niet in rekening gebracht bij de berekening van de installatiekost van het toestel. De toestellen worden namelijk op zee geïnstalleerd. De omstandigheden op zee in vergelijking met een fabriekshal laten namelijk niet toe om een grote winst aan leereffect te boeken.

## **IX.3 Haalbaarheidsstudie**

Nadat alle prijzen en variabelen zijn vastgelegd kan voor de meest geschikte locaties, bepaald m.b.v. ArcGIS 9.2 in Hoofdstuk VII, een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd voor de verschillende toestellen. De NPV en IRR worden per locatie bepaald en de S-curve wordt voor de drie belangrijkste variaties van kostprijzen en / of inkomsten opgesteld.

De studie wordt beschouwd per toestel. M.b.t. de Wave Dragon wordt verwezen naar §IX.2.1.1. Voor de SSG zal t.g.v. de beperkte informatie enkel het basisgeval beschouwd worden.

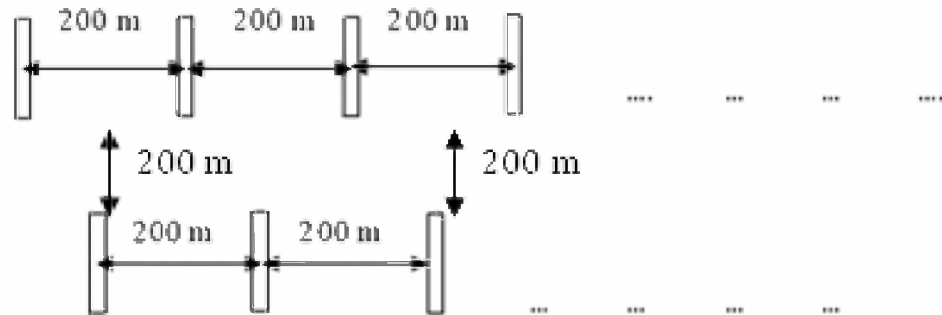
### ***IX.3.1 Pelamis***

Uit de ArcGIS analyse wordt besloten dat de beste site zich in Duitsland bevindt. Ook de beste locaties voor het BCP, NCP en de op één na beste locatie voor het DCP worden in aanmerking genomen.

De tussenafstand tussen de hartlijnen van 2 750 kW - Pelamissen op een rij bedraagt de lengte van het toestel (150 m) en een extra lengte van 50 m. Gezien het toestel zich steeds richt naar de

meeste energetische golfrichting wordt er van uitgegaan dat de toestellen zich over tenminste 90° kunnen draaien zodat ze in elkaar verlengde komen te liggen. De extra 50 m houdt rekening met deze rotatie over 90° en laat toe dat de toestellen zich nog enigszins over hun lengterichting kunnen verplaatsen in de nieuwe toestand. De beschouwde tussenafstand laat ook eenvoudig toe om de toestellen bij een defect te verwijderen. De toestellen op een volgende rij worden niet in het verlengde maar steeds in het midden tussen 2 toestellen van de rij ervoor geplaatst (Figuur IX-4). Het aantal toestellen op de oneven rijen is dus steeds één kleiner dan op de even rijen.

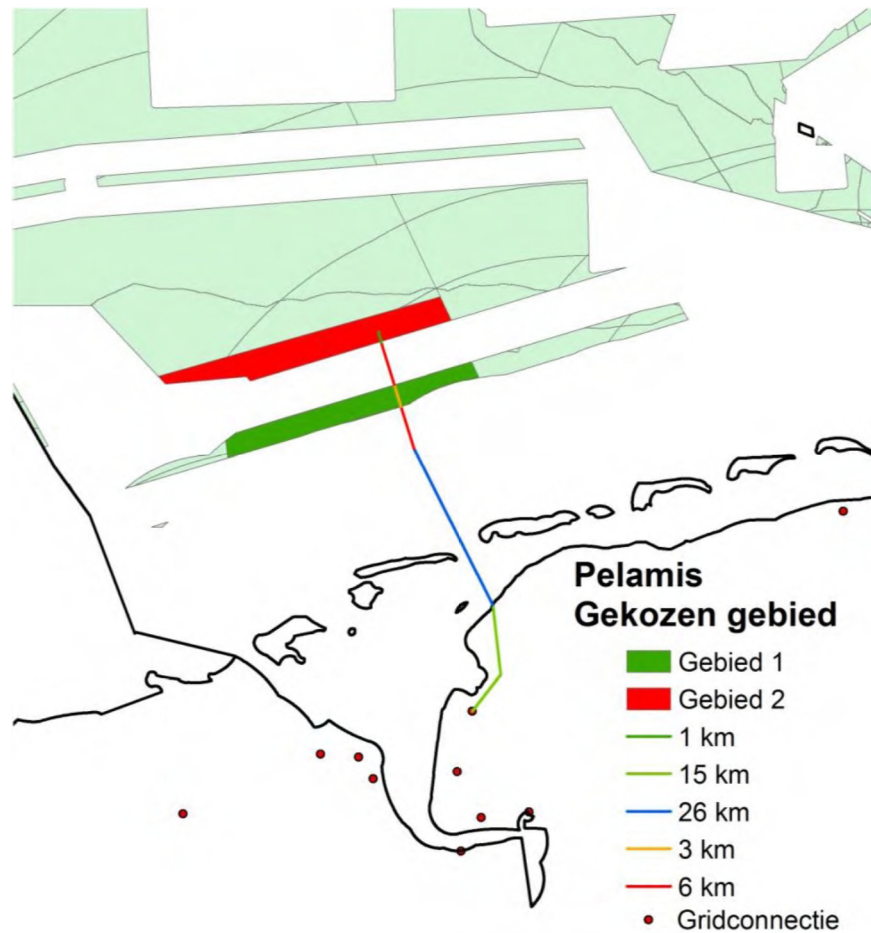
De tussenafstand in de lengterichting van het toestel zal voor de beschouwde gebieden niet van belang zijn gezien de voldoende beschikbare grootte van de beschouwde locaties. Er wordt in alle gevallen steeds als richtwaarde uitgegaan van een tussenafstand van 200 m (Figuur IX-4).



**Figuur IX-4: Ligging van de Pelamissen in een park**

### ***IX.3.1.1 Duitsland***

Er worden 2 locaties beschouwd (Figuur IX-5). Aangezien de beste locatie zich tussen 2 vaarroutes bevindt en dit gebied mogelijks niet beschikbaar is of voor grote moeilijkheden kan zorgen bij de installatie van het park omwille van de drukke scheepvaart. Onder gebied 1 wordt de beste locatie verstaan van het NCP, DCP en BCP samen. Gebied 1 ligt tussen 2 vaarroutes. Onder gebied 2 wordt de op één na beste locatie verstaan. Gebied 1 ligt dicht bij de kust in vergelijking met gebied 2.



**Figuur IX-5: Gekozen locatie voor de installatie van een golfenergieconverteerpark van Pelamissen (DCP)**

### Gebied 1

De beste locatie bevindt zich op 32 km van de kust. Het overbruggen van een vaarroute brengt een grotere kostprijs met zich mee (§IX.2.2.2). De te overbruggen afstanden voor vaarroutes worden daarom steeds expliciet vermeld en apart berekend in de analyse. Een vaarroute van 6 km breed dient voor gebied 1 overbrugd te worden. De kabelafstand op land bedraagt 15 km. Voor de aanlanding wordt 1 km in rekening genomen. De afmetingen van het gebied bedragen 3 km x 36 km. Het vermogen dat door één Pelamis geleverd wordt bedraagt: 113,32 kW (§VII.4.5). De Pelamissen dienen en kunnen volgens de meest energetische richting noordwest – zuidoost gericht worden.

De lengte van het gebied (36 km) laat toe om maximaal 181 toestellen op één rij te plaatsen. Er wordt in eerste instantie nagegaan hoeveel rijen maximaal dienen beschouwd te worden indien een volledige bezetting per rij in acht wordt genomen. Ter bepaling van de maximale bovengrens voor het aantal rijen wordt de NPV per rij bepaald, rekening houdend met de basiswaarden voor de inkomsten (in dit geval de inkomsten uit de elektriciteitsprijs en GSC) en met de kosten van het toestel:

- De kapitaalkosten van het toestel
- De installatiekost van het toestel
- De onderhouds- en verzekeringskost van het toestel
- De kost voor het verwijderen van de Pelamis

De kabelkost en kabelsubsidies, transformator kost, ... worden nog niet in beschouwing genomen gezien deze worden bepaald door het aantal toestellen, het aantal rijen, de te overbruggen kabelafstand, ... en gezien in eerste instantie enkel een absolute bovengrens dient vastgelegd te worden.

De extra factoren die niet in rekening worden gebracht zorgen namelijk steeds voor een daling van de in eerste instantie bepaalde NPV. De NPV daalt steeds gezien de extra factoren enkel extra kosten (met uitzondering van de kabelsubsidie maar die steeds kleiner is dan de kabelkost) met zich meebrengen. Er wordt bijgevolg geëist dat het toestel op zich rendabel is en over een positieve NPV beschikt.

Voor de toestelkosten wordt het leereffect in rekening genomen. Indien meerdere rijen worden beschouwd wordt ook het effect van de diffractie in rekening gebracht (§III.5.1). Tabel IX-5 biedt een overzicht van de NPV per rij. Voor de 1<sup>ste</sup> rij wordt de NPV gegeven voor 1 Pelamis, voor de 2<sup>de</sup> rij wordt de som van de NPV gegeven voor een Pelamis op de 1<sup>ste</sup> rij en een Pelamis 2<sup>de</sup> rij, ...

rijnummer	NPV [€]
1	48.929
2	48.509
3	-22.589

**Tabel IX-5: NPV per Pelamis (gebied 1, DCP)**

Tabel IX-5 toont dat het interessant is om maximaal twee rijen aan te leggen. Vanaf een hoger aantal rijen speelt de diffractie een belangrijke rol en wordt de NPV negatief. Het maximaal aan te leggen rijen opdat de investering interessant zou zijn bedraagt m.a.w. 2. In wat volgt zal nu de NPV voor volgende gevallen worden bepaald:

- 1 rij met 181 toestellen, een 220 kV AC-kabel van 630 mm<sup>2</sup> en een 33 kV – 220 kV transformator op zee (geval 1). Het maximale vermogen  $P_{max}$  wordt bepaald op basis van het aantal toestellen en het maximale vermogen van één Pelamis (750 kW). Voor de bepaling van  $P_{max}$  wordt in het geval van meerdere rijen geen diffractie in rekening gebracht. Voor de veiligheid wordt er namelijk van uitgegaan dat zich een piekvermogen over alle toestellen op hetzelfde ogenblik kan voordoen.  $P_{max}$  bedraagt dan:  $0,75 \times 181 = 135,75$  MW.
- 2 rijen met in totaal 353 toestellen, een 220 kV AC-kabel van 630 mm<sup>2</sup> en een 33 kV – 220 kV transformator op zee. Het beschikbare vermogen van de 220 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 2). Het maximale vermogen  $P_{max}$  bedraagt in dit geval: 264,75 MW.

Tabel IX-6 geeft een overzicht van de NPV berekend uitgaande van de aangenomen basiswaarden.

Geval	NPV [€]
1	-62.787.550
2	-31.209.984

**Tabel IX-6: NPV bij de basis (gebied 1, DCP)**

De situatie waarin 2 rijen beschouwd worden is in dit geval de “beste” situatie. De NPV voor geval 2 is echter negatief, maar zal voor sommige gevallen een positieve waarde opleveren (het rechtse deel van de S-curve van Figuur IX-6). De IRR voor de aangenomen basiswaarden bedraagt 8,55 %. Enkel voor geval 2 zal een worst case en best case scenario beschouwd worden. Er zal ook een S-curve worden opgesteld voor de drie belangrijkste variabelen. Het geproduceerde vermogen voor geval 2 waarbij het effect van diffractie in rekening is gebracht, bedraagt: 338.116 MWh/jaar.

Een worst case scenario gaat uit van al de vastgelegde minima (of slechtste situaties) voor de kostprijzen. De NPV bedraagt in dit geval: -286.887.439 €.

Een best case scenario beschouwt daarentegen alle maxima (of beste situaties) m.b.t. de kostprijzen. Een er wordt een NPV van 263.798.031 € gevonden.

Ter bepaling van de S-curve dient de variatie van de NPV beschouwd te worden voor volgende acht gevallen:

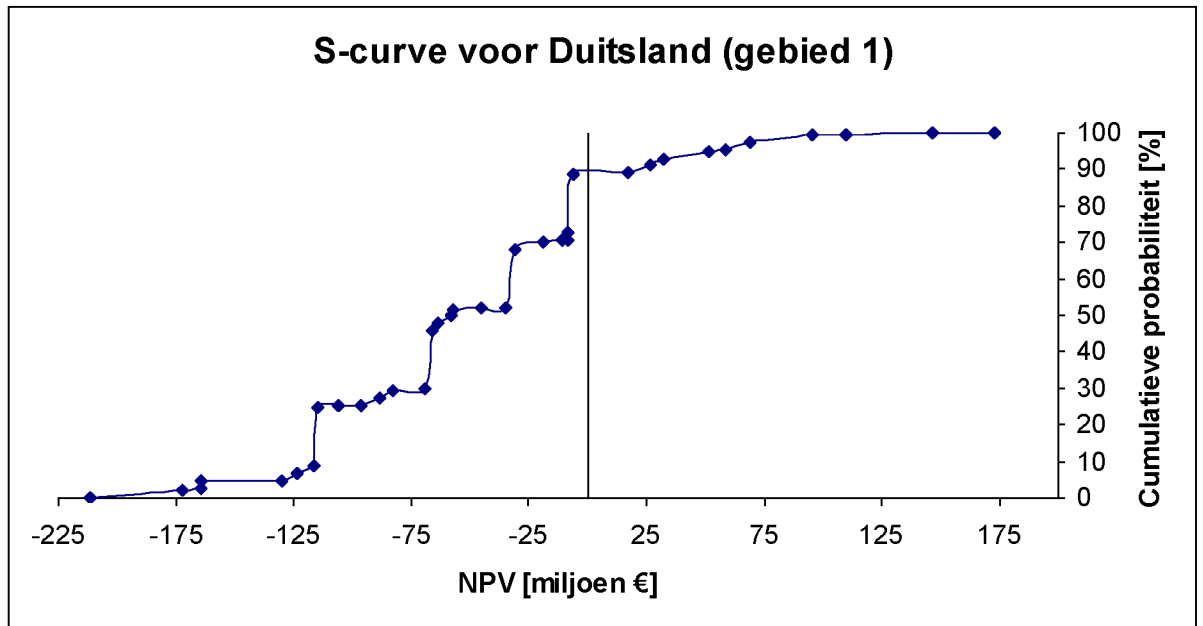
- De discontovoet
- Het effect van de leercurve
- De kosten voor een kabel , voor de aanleg van de kabel, voor een transformatorstation, velden, spoelen, een beveiligingspaneel en een offshore-platform (§IX.2.1.2 - §IX.2.1.7 en §IX.2.2.2 - §IX.2.2.4)
- De prijs van de groenestroomcertificaten
- De elektriciteitsprijs
- De kabelsubsidie
- De prijs van de golfenergieconvector op basis van twee verschillende bronnen [84] en [86].
- Eén kabel vs twee kabels

Tabel IX-7 biedt een overzicht van de variaties. Er kan besloten worden dat invloed van de discontovoet, de elektriciteitsprijs en het effect van de leercurve de grootste invloed heeft. De S-curve kan nu opgesteld worden voor deze drie factoren.

	NPV [€]	Maximale variatie van de NPV [€]
<b>1. disconto</b>		
maximum	68.879.066	151.508.785
basis	-31.209.984	
minimum	-82.629.719	
<b>2. leercurve</b>		
maximum	-6.361.416	108.476.507
basis	-31.209.984	
minimum 1	-66.214.895	
minimum 2	-114.837.924	
<b>3. Overige kostprijzen</b>		
maximum	-9.763.297	42.893.375
basis	-31.209.984	
minimum	-52.656.672	
<b>4. GSC</b>		
minimum	-31.209.984	16.725.347
basis	-14.484.638	
<b>5. elektriciteitsprijs</b>		
minimum	-88.781.456	115.142.943
basis	-31.209.984	
maximum	26.361.487	
<b>6. kabelsubsidie</b>		
basis	-31.209.984	19.639.047
maximum	-11.570.937	
<b>7.prijs toestel</b>		
basis	-31.209.984	107.589.594
minimum	-138.799.578	
<b>8. 1vs 2kabels</b>		
basis	-31.209.984	33.604.907
maximum	2.394.923	

Tabel IX-7: Variaties van de NPV (DCP)

Tot slot, geeft Figuur IX-6 de S-curve voor de drie belangrijkste factoren weer. De exacte waarden voor de S-curve worden gegeven in bijlage D.3. De S-curve ligt voor een deel in het gebied van positieve NPV waarden. Voor de beschouwde S-curve bedraagt de probabiteit op een NPV groter of gelijk aan nul: 11 %.



**Figuur IX-6: S-Curve voor gebied 1 in Duitsland**

## Gebied 2

Gebied 2 (Figuur VII-23) bevindt zich op 42 km van de kust waarvan 12 km wordt ingenomen door te kruisen vaarroutes. De afstand van de kabel op land is dezelfde als beschouwd voor gebied 1 (15 km). De afmetingen van het gebied bedragen 40 km x 4 km. Het geproduceerde vermogen bedraagt net als onder gebied 1: 113,32 kW. De Pelamissen dienen en kunnen volgens de meest energetische richting noordwest – zuidoost gericht worden.

Ook nu wordt een maximale bovengrens van het aantal toestellen bepaald. Het maximaal aantal toestellen op de 1<sup>ste</sup> rij bedraagt in dit geval 201. Tabel IX-8 geeft een overzicht van de NPV per rij.

Rijnummer	NPV [€]
1	52.148
2	54.384
3	-14.129

**Tabel IX-8: NPV per Pelamis (gebied 2, DCP)**

Opnieuw bedraagt het maximaal aantal te beschouwen rijen 2. De NPV is in dit geval licht groter dan de waarden weergegeven in Tabel IX-5. Dit komt omdat meer toestellen kunnen geplaatst worden en de kostprijs per toestel aldus daalt door het leereffect. Er dient echter opgemerkt dat de afstand groter is dan onder gebied 1 en de kabelkost dus gevoelig zal stijgen. Volgende gevallen ter bepaling van de NPV worden beschouwd:

- 1 rij met 201 toestellen ( $P_{\max} = 150,75 \text{ MW}$ ), een 220 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$  en een 33 kV – 220 kV transformator op zee (geval 1).

- 2 rijen met in totaal 353 toestellen ( $P_{\max} = 264,75 \text{ MW}$ ), een 220 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$  en een 33 kV – 220 kV transformator op zee. Het beschikbare vermogen van de 220 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 2a).
- 2 rijen met in totaal 401 toestellen ( $P_{\max} = 300,75 \text{ MW}$ ), een 220 kV AC-kabel van  $800 \text{ mm}^2$  en een 33 kV – 220 kV transformator op zee (geval 2b). In vergelijking met geval 2a kunnen in dit geval meer toestellen geplaatst worden. De inkomsten zullen dus stijgen, er dient echter gebruik gemaakt te worden van een duurdere kabel ( $800 \text{ mm}^2$  in vergelijking met  $630 \text{ mm}^2$ ).

Tabel IX-9 geeft een overzicht van de NPV berekend uitgaande van de basiswaarden.

Geval	NPV [€]
1	-84.103.551
2a	-56.742.656
2b	-76.559.393

**Tabel IX-9: NPV bij de basis (gebied 2, DCP)**

Indien Tabel IX-6 met Tabel IX-9 wordt vergeleken dan is de dichtste locatie (gebied 1) effectief beter dan de verder beschouwde locatie (gebied 2). Dit verschil is te wijten aan de sterke toename in kabelkost (zowel de voor de kabel zelf als voor de installatie van de kabel) ten gevolge van de toegenomen afstand tot de kust en de toegenomen afstand vaarroutes.

De situatie waarin 2 rijen beschouwd worden met een maximale benutting van de 220 kV AC-kabel ( $630 \text{ mm}^2$ ) levert in dit geval de grootste NPV op. De IRR voor geval 2a bedraagt 7,49 %. Voor de bepaling van de IRR is uitgegaan van de aangenomen basiswaarden. Opnieuw wordt enkel voor het beste geval (geval 2a) een worst case en best case scenario beschouwd en wordt een S-curve opgesteld voor de drie belangrijkste variabelen. Het geproduceerde vermogen voor geval 2a waarbij het effect van diffractie in rekening is gebracht, bedraagt: 339.574 MWh/jaar.

De NPV bedraagt:

- Voor het worst case scenario: -317.560.089 €
- Voor het best case scenario: 255.666.049 €

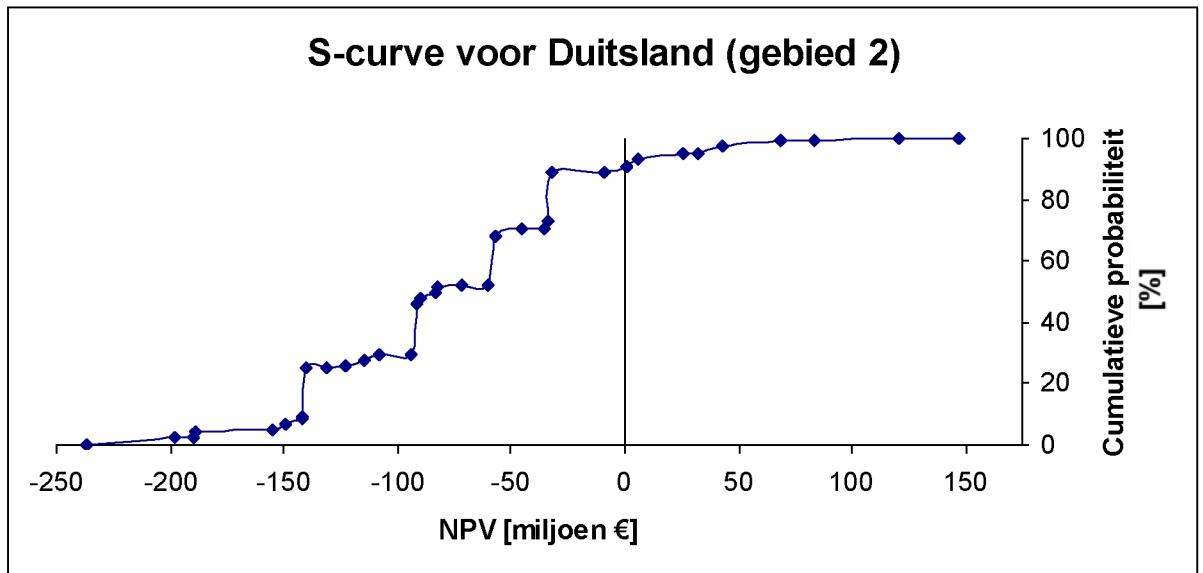
Het worst en best case scenario voor gebied 1 en 2 liggen in dezelfde grootteorde. De onderlinge verschillen zijn te wijten aan de toename in kapitaal- en installatiekost voor de kabel op zee.

De variatie op de NPV van de 8 factoren voor gebied 2 wordt in bijlage D.1 gegeven. De belangrijkste factoren zijn in dit geval evenzeer:

- De discontovoet
- De elektriciteitsprijs
- Het effect van de leercurven



Een S-curve wordt opgesteld voor de drie vermelde factoren (Figuur IX-7). De exacte waarden voor de S-curve worden gegeven in bijlage D.3. Gezien de NPV voor het basisgeval van gebied 2 licht negatiever was in vergelijking met gebied 1 (Tabel IX-9 en Tabel IX-8) wordt een verschuiving van de S-curve naar links verwacht. De verschuiving wordt weergegeven in Figuur IX-9. De probabilliteit opdat dat de NPV groter of gelijk aan nul wordt bedraagt in dit geval: 9 %. Er kan besloten worden dat gebied 1 effectief beter scoort dan gebied 2 zoals ook uit de ArgGIS-analyse volgt.



Figuur IX-7: S-Curve voor gebied 2 in Duitsland

### IX.3.1.2 Nederland

De beste locatie in Nederland (Figuur VII-24) bevindt zich op 67 km van de kust. De te overbruggen afstand in vaarroutes bedraagt 28,5 km. De laatst vermelde afstand is veel groter dan voor de gebieden 1 en 2 voor het DCP (respectievelijk 6 km en 12 km). Gezien de hogere kostprijs voor het overbruggen van een vaarroute zal in de berekeningen die volgen de toename in afstand geen onbelangrijk invloed uitoefenen. De kabelafstand op land bedraagt 17 km. Het gebied kent de volgende afmetingen: 56 km x 2,8 km. Het geproduceerde vermogen bedraagt net als onder gebied 1 en 2 voor het DCP: 113,32 kW. De Pelamissen dienen en kunnen volgens de meest energetische richting noordwest – zuidoost gericht worden.

Ook voor het NCP wordt een maximale bovengrens van het aantal rijen bepaald. Er kunnen in dit geval maximaal 281 toestellen op één rij geplaatst worden. Indien geen inkomsten in beschouwing worden genomen bedraagt de NPV: -664.745 €. Er kan besloten dat zonder GSC de investering absoluut niet interessant is. In wat volgt wordt daarom als basisgeval uitgegaan van inkomsten uit zowel de elektriciteitsprijs als de GSC (§IX.2.5). De NPV bedraagt dan:

Rijnummer	NPV [€]
1	162.019
2	265.012
3	289.796
4	238.096
5	158.808
6	-884.023

Tabel IX-10: NPV per Pelamis (NCP)

Het is dus niet interessant om meer dan vijf rijen te beschouwen. Uit Tabel IX-10 wordt tevens afgeleid dat de hoogste waarde voor de NPV kan verwacht worden voor drie rijen. Vanaf de 4<sup>de</sup> rij daalt de NPV, dit is te wijten aan de invloed van de diffractie die steeds groter wordt. Per rij daalt namelijk het geproduceerde vermogen en bijgevolg de inkomsten. De waarden voor de NPV in Tabel IX-10 liggen sterk hoger dan voor de gebieden in het DCP. Dit is het gevolg van twee factoren:

- Er kunnen meer toestellen op een rij geplaatst worden (281 i.p.v. 181 (gebied 1) en 201 (gebied 2) zodat het leereffect des te groter wordt en de kostprijs per toestel daalt.
- De inkomsten zijn gunstiger (§IX.2.5).

De verklaring voor een daling van de NPV slechts na de vierde rij voor het NCP (Tabel IX-10) in plaats van na de 2<sup>de</sup> rij voor het DCP (Tabel IX-5 en Tabel IX-8) is te wijten aan het leereffect. Algemeen doet de daling zich voor ten gevolge van de toenemende invloed van diffractie. De invloed laat zich voor het NCP slechts later gevoelen (na vier rijen) t.g.v. een sterkere leereffect. Er kunnen namelijk meer toestellen op één rij geplaatst worden voor het NCP in vergelijking met het DCP.

Volgende gevallen zullen nu verder in beschouwing genomen worden:

- 1 rij met 176 toestellen ( $P_{\max} = 132 \text{ MW}$ ), een 110 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$  en een 33 kV – 110 kV transformator op zee. Het beschikbare vermogen van de 110 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 1a).
- 1 rij met 281 toestellen ( $P_{\max} = 210,75 \text{ MW}$ ), een 220 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$ , een 33 kV – 220 kV transformator op zee en een 110 kV – 220 kV transformator op land (geval 1b).
- 2 rijen met in totaal 561 toestellen ( $P_{\max} = 420,75 \text{ MW}$ ), een 420 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$ , een 33 kV – 420 kV transformator op zee en een 110 kV – 420 kV transformator op land (geval 2).
- 3 rijen met in totaal 674 toestellen ( $P_{\max} = 505,5 \text{ MW}$ ), een 420 kV AC-kabel van  $630 \text{ mm}^2$ , een 33 kV – 420 kV transformator op zee en een 110 kV – 420 kV transformator op land. Het beschikbare vermogen van de 420 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 3a).

- 3 rijen met in totaal 774 toestellen ( $P_{\max} = 580,5$  MW), een 420 kV AC-kabel van 800 mm<sup>2</sup>, een 33 kV – 420 kV transformator op zee en een 110 kV – 420 kV transformator op land. Het beschikbare vermogen van de 420 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 3b).
- 4 rijen met in totaal 880 toestellen ( $P_{\max} = 660$  MW), een 420 kV AC-kabel van 1000 mm<sup>2</sup>, een 33 kV – 420 kV transformator op zee en een 110 kV – 420 kV transformator op land. Het beschikbare vermogen van de 420 kV AC-kabel wordt in dit geval maximaal benut (geval 4a).
- 4 rijen met in totaal 1122 toestellen ( $P_{\max} = 841,5$  MW), een 420 kV AC-kabel van 2000 mm<sup>2</sup>, een 33 kV – 420 kV transformator op zee en een 110 kV – 420 kV transformator op land (geval 4b).

In wat volgt, blijken vijf rijen of meer niet meer interessant.

Tabel IX-11 geeft een overzicht van de NPV berekend uitgaande van de basiswaarden.

Geval	NPV [€]
1a	-109.539.157
1b	-79.823.092
2	-24.179.658
3a	-3.949.535
3b	-38.242.287
4a	-55.431.920
4b	-117.387.391

**Tabel IX-11: NPV bij basis (NCP)**

Indien de resultaten voor Duitsland (Tabel IX-6 en Tabel IX-9) met de resultaten voor Nederland worden vergeleken kan besloten worden dat voor de beschouwde gebieden Nederland een gunstigere NPV heeft. De verklaring berust op verschillende factoren:

- De in rekening genomen inkomsten zijn gunstiger in vergelijking met Duitsland.
- Het aantal toestellen dat per rij kan geïnstalleerd worden in Nederland is groter dan in Duitsland. Dit resulteert in een toename van de inkomsten uit de GSC en elektriciteitsprijs enerzijds. Anderzijds wordt het leereffect sterker door het groter aantal beschouwde toestellen.
- Het effect van de grotere afstand tot de kust van de locatie (grotere kabelkost) komt tot uiting in geval 1a en 1b. Naarmate het aantal rijen stijgt (in geval van 2 en 3 rijen) wordt door grote kabelkost gecompenseerd door het groter geïnstalleerd vermogen t.g.v. de toename in toestellen.

De situatie waarin 3 rijen met een totaal van 674 toestellen (geval 3a) beschouwd worden en met een maximale benutting van de 420kV AC-kabel (630 mm<sup>2</sup>) levert in dit geval de grootste NPV op. Voor de vastgelegde basiswaarden bedraagt de IRR: 9,91 %. Hoewel uit de bepaling van de maximale bovengrens bleek dat maximaal 5 rijen konden worden beschouwd, wordt uit Tabel IX-11 afgeleid dat de NPV reeds sterk daalt voor de 4<sup>de</sup> rij. Opnieuw wordt enkel voor de beste situatie (geval 3a) een worst case en best case scenario beschouwd en wordt een S-curve opgesteld voor de drie belangrijkste variabelen. Het geproduceerde vermogen voor geval 3a waarbij het effect van diffractie in rekening is gebracht, bedraagt 633.238 MWh/jaar.

De NPV bedraagt:

- Voor het worst case scenario: -555.210.752 €
- Voor het best case scenario: 518.172.358 €

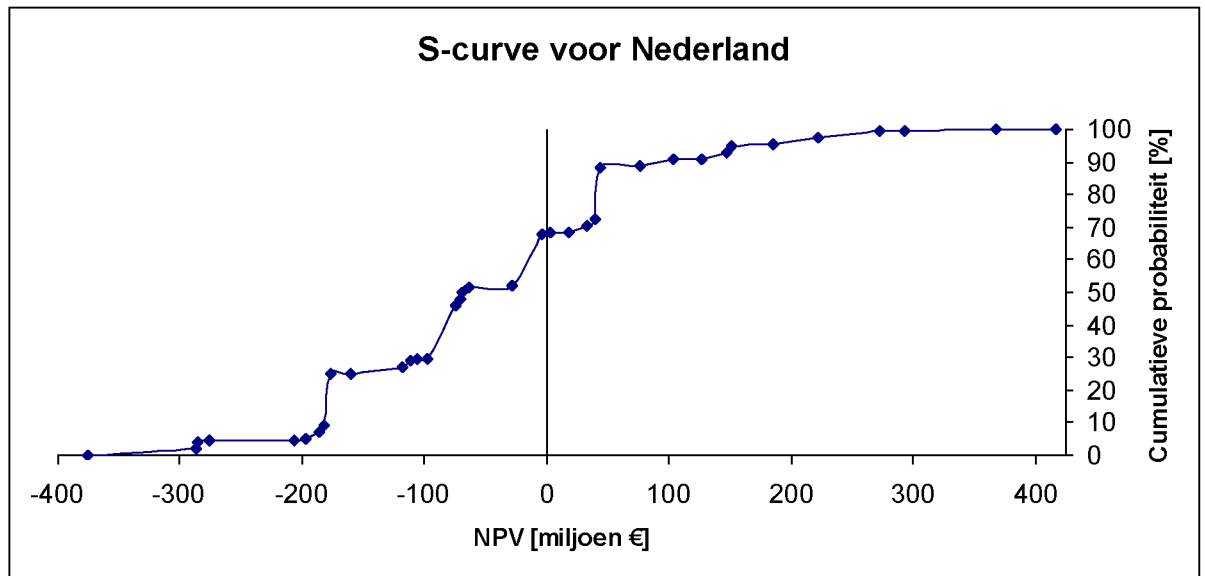
Het worst en best case scenario voor de locatie in Nederland zijn ca. twee maal groter dan voor gebied 1 en 2 in het DCP. Het grote verschil is voornamelijk te wijten aan twee factoren:

- Een negatieve factor: De locatie in het NCP is veel verder in zee gelegen. Dit impliceert een sterke toename in kabelkost en evenzeer in installatiekost. De te overbruggen afstand over vaarroutes is namelijk meer dan 4 x groter in vergelijking met gebied 1 en meer dan 2 x groter in vergelijking met gebied 2 in het DCP.
- Een positieve factor: Het geproduceerde vermogen (633.238 MWh/jaar) ligt veel hoger in vergelijking met gebied 1 (338.116 MWh/jaar) en gebied 2 (339.574 MWh/jaar). Dit effect wordt nog versterkt door het gunstiger investeringsklimaat, gezien de hogere prijs in GSC (§IX.2.5.2).

De variatie op de NPV van de 8 factoren voor de beste locatie in het NCP wordt in bijlage D.2 gegeven. De belangrijkste factoren zijn in dit geval evenzeer:

- De discontovoet
- De elektriciteitsprijs
- Het effect van de leercurven

Een S-curve wordt opgesteld voor de drie vermelde factoren (Figuur IX-8). De exacte waarden voor de S-curve worden gegeven in bijlage D.3. De probabiteit waarbij de NPV groter dan of gelijk aan nul wordt bedraagt: 31,75 %. De waarde (31,75 %) en de locatie in Nederland is dus gunstiger in vergelijking met gebied 1 (11 %) en gebied 2 (9 %) in het DCP. Er dient echter wel opgemerkt dat de NPV over een groter interval varieert (-400 miljoen € tot 400 miljoen € vs -250 miljoen € tot 250 miljoen €; Figuur IX-6). De trend wordt evenzeer bevestigd als de worst en best case scenario's voor de verschillende gebieden met elkaar vergeleken worden. Enerzijds kan dus gesteld worden dat de winsten mogelijks hoger kunnen zijn. Anderzijds zijn ook de mogelijke verliezen voor het NCP veel groter. Gezien de grote probabiteit op een negatieve NPV (68,25 %) is dit risico niet onbelangrijk.



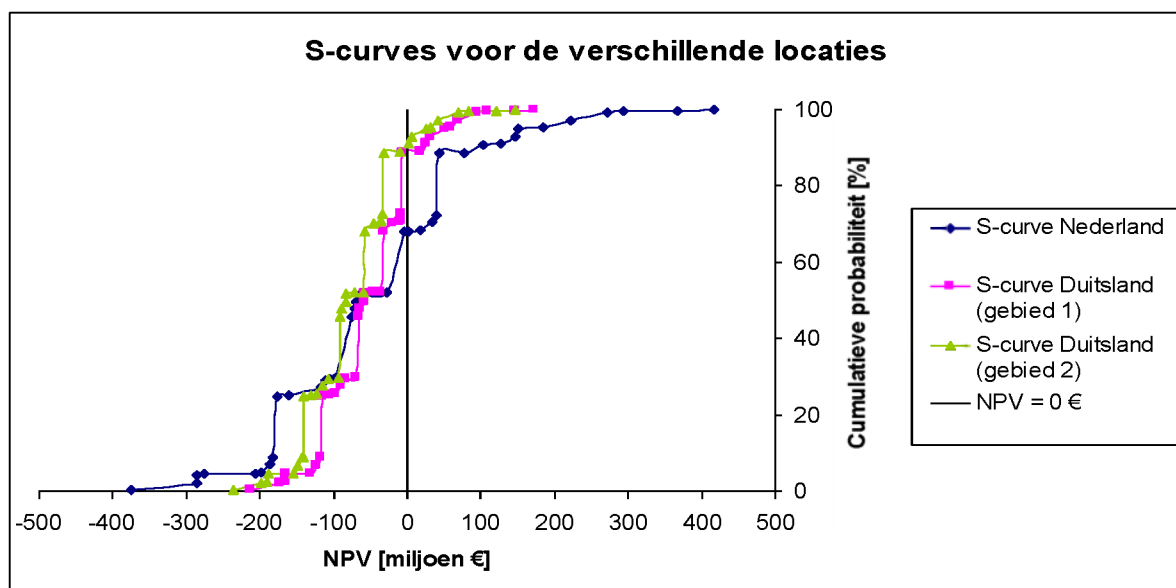
**Figuur IX-8: S-curve voor Nederland**

Tot slot, wordt een overzicht gegeven voor de 3 gebieden (gebied 1 en 2 in het DCP en de locatie in Nederland) in Figuur IX-9. Zoals eerder besproken is een verschuiving waar te nemen van de S-curve van gebied 2 naar links (meer negatieve NPV) in vergelijking met gebied 1. Hoewel niet duidelijk zichtbaar verschuift de S-curve van Nederland naar rechts (gunstiger) op in vergelijking met gebied 1 en 2. Er kan besloten worden dat meest gunstige locatie in Nederland is gelegen in tegenstelling tot de ArcGIS-analyse bepaalde gebied 1. De reden is dubbel.

Enerzijds speelt het effect van het gunstiger investeringsklimaat in Nederland in vergelijking met Duitsland. De subsidies zijn dus niet onbelangrijk en maken de exploitatie van golfenergie onmogelijk als geen subsidies aanwezig zijn. Het geval waarbij geen inkomsten voor Nederland worden beschouwd illustreert dit. In de ArcGIS-analyse kan in de toekomst een extra factor toegekend worden om dit euvel te verhelpen. De factor en de bijhorende scoreverdeling brengt dan de subsidies per continentaal plat in rekening: hoe hoger de subsidie, hoe hoger de score.

Anderzijds is de beschikbare oppervlakte van groot belang. Voornamelijk de beschikbare lengte van 1 rij loodrecht op de meest energetische golfrichting speelt hierin een heel belangrijke rol. Naarmate het maximaal aantal te plaatsen toestellen toeneemt in één rij, nemen namelijk het geproduceerde vermogen en de inkomsten toe. Er kan dus in de ArcGIS-analyse ook in dit geval een extra factor toegekend worden. Hoe dit praktisch kan geschieden is echter niet vanzelfsprekend.

Algemeen kan besloten worden dat de meeste gunstige NPV (voor de locatie in Nederland) nog steeds negatief is waarbij reeds subsidies in rekening zijn gebracht. Subsidies zijn dus noodzakelijk voor de exploitatie van golfenergie en zijn op dit ogenblik niet voldoende om golfenergie rendabel te maken.



Figuur IX-9: S-curves voor de beschouwde locaties (BCP en NCP)

Tabel IX-12 geeft een overzicht van de besproken locaties. Er kan besloten worden dat de IRR dezelfde trend als de NPV volgt. Een uitgebreider overzicht staat vermeld in bijlage D.4. De meest gunstige locatie m.b.t. de IRR is m.a.w. Nederland. Tot slot, wordt in Tabel IX-12 een investeringskost, voor het effectief geproduceerde vermogen, gegeven. De investeringskost wordt bepaald opdat de NPV gelijk aan nul wordt waarbij geen subsidies en geen inkomsten uit de groenestroomcertificaten in rekening worden gebracht. De investeringskost is m.a.w. de elektriciteitsprijs die moet gevraagd worden om uit de kosten te geraken. De investeringskost geeft net als de ArcGIS-analyse het gebied 1 als beste locatie weer (nl laagste investeringskost). Dit is het gevolg van het niet in rekening brengen van de inkomsten uit de GSC. De investeringskost levert een goede indicatie van het belang van de locatie gezien de onzekerheid die steeds berust op de inkomsten uit GSC. Als de investeringskost wordt vergeleken met de conventionele elektriciteitsprijs (60 €/MWh of 2.500 €/kW) kan ook hier worden afgeleid dat subsidies onmisbaar zijn.

	Gebied 1 (DCP)	Gebied 2 (DCP)	Locatie in NCP
<b>Specificatie aantal toestellen</b>			
Aantal toestellen [-]	353	353	674
Aantal rijen [-]	2	2	3
<b>Vermogen</b>			
Maximaal vermogen [MW]	264,75	264,75	505,50
Geproduceerd vermogen [MWh/jaar]	338.116	339.574	633.238
<b>Economie</b>			
NPV [€]	-31.209.984	-56.742.656	-3.949.535
IRR [%]	8,55	7,49	9,91
Investeringskost [€/kW]	6.502	6.868	6.781

Tabel IX-12: Overzicht van de 3 besproken locaties op het DCP en NCP

### ***IX.3.1.3 België***

Het beste gebied in België (Figuur VII-24) is op 24 km van de kust gelegen, de te overbruggen kabelafstand op land bedraagt 4 km. De afmetingen van de zone laten 5 rijen toestellen toe met een totale beschikbare lengte van 5,5 km. Het geproduceerde vermogen bedraagt net als onder [3]: 52,03 kW (Westhinder).

Het maximaal aantal toestellen dat in dit geval op één rij kan geplaatst worden bedraagt 28. De maximale bovengrens voor het aantal rijen kan alweer bepaald worden. Er volgt echter dat de NPV voor de 1<sup>ste</sup> rij reeds negatief is: -594.940 €. Een IRR van 0 % levert zelf geen positieve waarde voor de NPV op. Er kan besloten worden dat het niet interessant is om op deze locatie een golfenergiepark aan te leggen.

### ***IX.3.2 SSG***

De 20 MW – SSG bevindt zich langsheen de kust in Duitsland nabij Bremerhaven (Figuur VII-31) en dient dus enkel over een transformatorstation op land te beschikken. De 20 MW kan getransporteerd worden m.b.v. een 33 kV – AC kabel (300 mm<sup>2</sup>).

De spanning op het bestaande grid in Duitsland bedraagt 220 kV. Er dient dus een 33 kV – 220 kV transformator geïnstalleerd te worden. De afstand tot de dichtstbijzijnde gridconnectie op land bedraagt 5 km.

Gezien de kostprijs van het toestel in de literatuur niet is teruggevonden zal geëist worden dat de NPV gelijk aan nul wordt. Hieruit kan dan de maximale kostprijs van het toestel bepaald worden. De maximale kostprijs omvat de installatie-, kapitaal-, onderhouds- en verzekeringskosten. De NPV wordt bepaald op basis van de vastgelegde basiswaarden. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 20 jaar.

De productie van de SSG op de beschouwde locatie bedraagt: 945,82 kW of 8.291 MWh/jaar. De inkomsten kunnen nu bepaald worden. Indien de toestelkost gelijk aan 0 € gesteld wordt bedraagt de NPV reeds -9.198.696 €. De productie is bijgevolg niet hoog genoeg om rendabel te zijn.

### ***IX.3.3 Wave Dragon***

Voor de beperkte studie wordt verwezen naar IX.2.1.1 .

# Hoofdstuk X: Besluit

In deze scriptie werd gezocht naar de meest geschikte locaties binnen het Belgisch, Nederlands en Duits Continentaal Plat (respectievelijk BCP, NCP en DCP) voor de plaatsing van een golfenergieconvector(park). De locatiebepaling gebeurde m.b.v. een multi-criteria analyse in een GIS (Geographical Information System) softwarepakket, namelijk ArcGIS 9.2.

Er werd eerst rekening gehouden met gebruiksfuncties die een eventuele exploitatie uitsluiten. Vervolgens werden de overblijvende gebieden vergeleken op basis van factoren waar gewichten en scores aan toegekend werden. De GIS-analyse werd toegepast voor drie verschillende toestellen en situaties: een park van Pelamissen, een Seawave Slot-Cone Generator (SSG) in een golfbreker en een 1:4,5 schaalmodel van de Wave Dragon. Tot slot werd voor de meest geschikte locaties van elk toestel een haalbaarheidsstudie uitgevoerd.

De Pelamis is een halfondergedompelde golfenergieconvector bestaande uit cilindrische secties, scharnierend met elkaar verbonden door middel van koppелеlementen of conversiemodules. De SSG is een golfenergieconvector van het overtopbare type waarin de potentiële energie van de golven wordt opgeslagen in drie boven elkaar geplaatste reservoirs. De opgeslagen energie wordt m.b.v. van turbines in electriciteit omgezet. De Wave Dragon is evenzeer een convector van het overtopbare type waarbij de golven met behulp van een schans in een drijvend reservoir worden overgebracht. De aanwezige waterhoogte binnen het reservoir wordt via een turbine omgezet in elektriciteit.

De ArcGIS analyse voor de Pelamis bestond uit meer dan enkel een locatiebepaling. Er werd namelijk een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de belangrijkste factoren: het beschikbare golfvermogen, de afstand tot het grid en de extreme omstandigheden. In de gevoeligheidsanalyse werd vastgesteld dat verschillende factoren in twee groepen ingedeeld kunnen worden. Een eerste groep factoren verkiest een korte afstand tot de kust. De andere groep factoren geeft de voorkeur aan locaties die ver van de kust gelegen zijn. Het is voornamelijk de verhouding van deze twee groepen die een rol zal spelen. Slechts als het totale gewicht van de factoren die een locatie ver van de kust verkiezen groter is dan ongeveer 0,7 keer het gewicht van de factoren die een locatie dicht bij de kust prefereren, zullen de gebieden ver van de kust de hoogste totaalscore behalen.

Uit de ArcGIS analyse bleken de meest geschikte locaties voor het park van Pelamissen op het DCP of het noordelijke deel van het NCP te liggen (Figuur VII-23). De uiteindelijk gekozen locaties, twee op het DCP en één op het NCP, combineren een relatief hoog beschikbaar golfvermogen met een betrekkelijk korte afstand tot de kust en het grid.



Vooraleer de haalbaarheidsstudie aan te vatten, werd een maximaal aantal rijen Pelamissen afgeleid. Er werd een maximale bovengrens van het aantal rijen bepaald in de veronderstelling dat de NPV steeds groter dan nul dient te zijn. In dit geval werd als eerste benadering de NPV bepaald waarbij enkel de variabele toestelkosten en de variabele opbrengsten worden beschouwd. Indien de netto actuele waarde (NPV) per toestel negatief is, zal het extra in rekening brengen van de vaste kosten, die de NPV verder doen dalen, de situatie namelijk nog minder interessant maken. Bij het vastleggen van de maximale bovengrens werd vastgesteld dat de invloed van het leereffect en diffractie sterk toeneemt per rij en een begrenzing van het aantal rijen oplevert.

Er volgde dat in de twee Duitse gebieden maximaal 2 rijen van 201 Pelamissen naast elkaar gelegd kunnen worden. Het Nederlandse gebied is langer en kan daardoor meer toestellen (maximaal 281) op een rij plaatsen. Dit impliceert een hoger leereffect en hogere inkomsten. Het maximaal aantal te plaatsen rijen bedroeg in dit geval vijf.

De drie locaties werden vervolgens onderworpen aan een haalbaarheidsstudie waarbij het effect van de inkomsten (elektriciteitsprijs, groenestroomcertificaten en eventuele kabelsubsidies) en de kosten (kapitaal-, installatie-, verzekerings- en onderhoudskost) bestudeerd werd door de nodige variaties op de beschikbare data te beschouwen. Er wordt hierbij steeds een basisgeval (een basiskost- of inkomst) gedefinieerd waaraan een hoge waarschijnlijkheid wordt toegekend (bv 80 %) en een minimum- en / of maximumgeval met een lage probabilliteit (bv 10 %). Voor alle gevallen wordt vervolgens de variatie van de NPV t.o.v. de basiswaarde berekend. De drie belangrijkste variaties waren voor de drie locaties dezelfde, met name: de discontovoet, de elektriciteitsprijs en het effect van de leercurve. Een S-curve werd opgesteld voor deze drie variaties. Uit de S-curve werd afgeleid dat het Nederlandse gebied een kans heeft van 31,75 % op een positieve NPV terwijl de Duitse gebieden slechts 11 % en 9 % behalen. Dit komt niet overeen met de volgorde bepaald uit de ArcGIS analyse waar de Duitse gebieden een hogere totaalscore behaalden. Er bestaan hier twee redenen voor waar in de toekomst rekening mee kan gehouden worden. De inkomsten uit de groenestroomcertificaten en de beschikbare lengte voor een park van Pelamissen loodrecht op de meest energetische golfrichting oefenen namelijk een grote invloed uit op de NPV. Het zal aldus interessant zijn om beide parameters op te nemen als factor in de locatiebepaling.

De aanleg van een park Pelamissen op het Belgisch Continentaal Plat is af te raden daar het geproduceerde vermogen te laag is. Bij de bepaling van de maximale bovengrens van het aantal rijen is de NPV namelijk reeds negatief voor één rij Pelamissen (-594.940 €). Een IRR groter dan 0 % kon zelf niet bereikt worden.

Voor de SSG wordt Bremerhaven als meest geschikte locatie gevonden. Gezien geen kostprijzen van de SSG beschikbaar waren, is de kostprijs van het toestel bepaald waarvoor de NPV gelijk aan nul wordt. Bij het bepalen van deze NPV werd vastgesteld dat de inkomsten te laag zijn om

de kosten (zonder de toestelkost) te compenseren zodat kan besloten worden dat de SSG niet genoeg produceert om economisch haalbaar te zijn op het BCP, NCP of DCP.

De Wave Dragon die wordt beschouwd, is een schaalmodel (1 : 4,5). Na een gesprek met Elia bleek dat, door het beperkte vermogen van het toestel, de factor van de nabijheid van een bestaande gridconnectie in de keuze voor de meest geschikte locatie vervalt. Het zal immers volstaan een kleine batterij te voorzien die de geproduceerde elektriciteit kan opslaan. De belangrijkste factor bij de bepaling van de ideale locatie voor de Wave Dragon zijn de extreme golfomstandigheden. Dit is ten gevolge van het gevaar op zware beschadiging bij stormweer. Als beste locatie voor het toestel wordt Oostende gevonden. De gegevens ter uitvoering van een haalbaarheidsstudie op de Wave Dragon zijn dermate beperkt dat enkel uit de inkomsten (i.e. de geproduceerde elektriciteit) kon worden afgeleid dat extra subsidies noodzakelijk zijn. De inkomsten bedragen 6.976 €/jaar en zijn dus niet voldoende om de kosten (grootte-orde ca. 4.000.000 € te dekken.

# Bijlage A: Scatter diagrammen

## A.1 Oorspronkelijke scatterdiagrammen

### A.1.1 BCP

#### A.1.1.1 Westhinder

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,75	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,25	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,75	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,25	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,75	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,25	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,75	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
4,25	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,75	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

#### A.1.1.2 Wandelaar

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,33	5,21	1,83	0,02	0	0	0	0	7,39
0,375	0,84	17,51	8,6	1,33	0,04	0	0	0	28,32
0,75	0,02	14,51	20,38	3,82	0,38	0	0	0	39,11
1,25	0	0,51	11,12	4,59	0,25	0,01	0	0	16,46
1,75	0	0	1,54	3,87	0,33	0	0	0	5,74
2,25	0	0	0,04	1,11	0,7	0,01	0	0	1,86
2,75	0	0	0	0,14	0,59	0,04	0	0	0,77
3,25	0	0	0	0	0,19	0,11	0	0	0,30
3,75	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,04
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	1,18	37,74	43,51	14,89	2,48	0,21	0,00	0,00	100

**A.1.1.3 Trapegeer**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	3,39	11,73	3,02	0,13	0	0	0	0	18,28
0,375	3,34	23,32	6,43	1,16	0,05	0	0	0	34,31
0,75	0,14	17,24	13,9	1,56	0,13	0	0	0	32,97
1,25	0,01	0,55	7,62	2,09	0,06	0	0	0	10,34
1,75	0	0,01	0,91	2,01	0,13	0	0	0	3,06
2,25	0	0	0,03	0,49	0,3	0	0	0	0,82
2,75	0	0	0	0,03	0,16	0,01	0	0	0,20
3,25	0	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0,03
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	6,88	52,85	31,91	7,48	0,86	0,03	0,00	0,00	100

**A.1.1.4 Oostende (periode: 1997 - 2002)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,28	8,97	7,65	0,95	0,07	0	0	0	17,92
0,375	0,21	15,27	15,2	3,68	0,5	0,02	0	0	34,88
0,75	0	7,47	23,43	3,35	0,53	0,02	0	0	34,81
1,25	0	0,01	4,97	3,16	0,22	0,01	0	0	8,36
1,75	0	0	0,12	2,24	0,29	0	0	0	2,65
2,25	0	0	0	0,36	0,67	0,01	0	0	1,04
2,75	0	0	0	0,01	0,23	0,05	0	0	0,29
3,25	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,04
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,48	31,72	51,36	13,76	2,53	0,14	0,00	0,00	100

**A.1.1.5 Oostende (periode: 1997 - 2002)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,08	8,53	6,91	0,67	0,05	0	0	0	16,24
0,375	0,24	16,77	13,83	3,57	0,53	0,01	0	0	34,96
0,75	0,01	8,79	21,17	3,7	0,69	0,02	0	0	34,38
1,25	0	0,04	7,16	2,44	0,2	0,01	0	0	9,86
1,75	0	0	0,33	2,25	0,16	0	0	0	2,73
2,25	0	0	0	0,77	0,41	0	0	0	1,18
2,75	0	0	0	0,03	0,49	0,01	0	0	0,53
3,25	0	0	0	0	0,08	0,04	0	0	0,12
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,33	34,13	49,39	13,43	2,61	0,10	0,00	0,00	100

**A.1.1.6 Bol van Heist**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,01	1,62	4,69	1,38	0,29	0,06	0,02	0	8,07
0,375	0,17	8,61	15,69	5,36	1,23	0,17	0,02	0	31,25
0,75	0,05	5,87	23,06	7,85	1,33	0,21	0,02	0	38,38
1,25	0	0,22	6,44	6,94	0,96	0,08	0	0	14,65
1,75	0	0	0,73	2,94	1,34	0,09	0	0	5,10
2,25	0	0	0,04	0,67	0,86	0,33	0	0	1,90
2,75	0	0	0	0,05	0,29	0,2	0,01	0	0,55
3,25	0	0	0	0	0,03	0,03	0,02	0	0,09
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,23	16,33	50,65	25,18	6,33	1,18	0,10	0,01	100

**A.1.1.7 Akkaert**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,22	1,85	1,07	0,02	0	0	0	0	3,16
0,375	2,96	12,17	4,96	0,75	0,02	0	0	0	20,86
0,75	1,59	18,12	15,56	2,94	0,26	0	0	0	38,46
1,25	0,07	3	13,32	4,32	0,25	0,01	0	0	20,97
1,75	0	0,17	3,97	5,35	0,31	0	0	0	9,81
2,25	0	0,03	0,49	2,97	0,74	0,01	0	0	4,23
2,75	0	0,01	0,03	0,78	0,82	0,02	0	0	1,66
3,25	0	0	0,01	0,1	0,48	0,05	0	0	0,64
3,75	0	0	0	0,01	0,11	0,04	0	0	0,17
4,25	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0,03
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	4,85	35,35	39,40	17,23	3,00	0,16	0,01	0,00	100

**A.1.2 DCP****A.1.2.1 Fino**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	6,69	2,32	0,13	0	0	0	0	9,14
0,75	0	13,65	13,36	0,28	0,02	0	0	0	27,31
1,25	0	3,6	18,2	0,75	0,06	0	0	0	22,61
1,75	0	0,04	17,39	1,12	0	0	0	0	18,55
2,25	0	0	8,52	1,72	0,01	0	0	0	10,25
2,75	0	0	3,16	1,92	0	0	0	0	5,08
3,25	0	0	0,84	2,51	0	0	0	0	3,35
3,75	0	0	0,01	1,59	0,02	0	0	0	1,62
4,25	0	0	0	0,84	0,02	0	0	0	0,86
4,75	0	0	0	0,43	0,03	0	0	0	0,46
5,25	0	0	0	0,16	0,13	0	0	0	0,29
5,75	0	0	0	0,04	0,19	0	0	0	0,23
6,25	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0,16
6,75	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0,07
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	23,98	63,80	11,49	0,71	0,00	0,00	0,00	99,98

**A.1.2.2 Helgoland**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	18,96	4,52	0,03	0	0	0	0	23,51
0,75	0	19,63	13,88	0,07	0	0	0	0	33,58
1,25	0	4,19	17,09	0,14	0	0	0	0	21,42
1,75	0	0,06	11,08	0,26	0	0	0	0	11,40
2,25	0	0	4,82	0,51	0	0	0	0	5,33
2,75	0	0	1,56	0,91	0	0	0	0	2,47
3,25	0	0	0,26	0,87	0	0	0	0	1,13
3,75	0	0	0,01	0,51	0,01	0	0	0	0,53
4,25	0	0	0	0,22	0,01	0	0	0	0,23
4,75	0	0	0	0,09	0,02	0	0	0	0,11
5,25	0	0	0	0,07	0,05	0	0	0	0,12
5,75	0	0	0	0,01	0,08	0	0	0	0,09
6,25	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,06
6,75	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	42,84	53,22	3,69	0,24	0,00	0,00	0,00	99,99

**A.1.2.3 NSBII**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	4,34	1,49	0,05	0,01	0	0	0	5,89
0,75	0	11,33	11,54	0,46	0,02	0	0	0	23,35
1,25	0	2,36	16,66	1,31	0,04	0	0	0	20,37
1,75	0	0,14	14,37	2,49	0,03	0	0	0	17,03
2,25	0	0,06	7,72	3,09	0,03	0	0	0	10,90
2,75	0	0,03	3,51	4,98	0,03	0	0	0	8,55
3,25	0	0,02	0,78	4,51	0,04	0	0	0	5,35
3,75	0	0,01	0,31	3,42	0,1	0	0	0	3,84
4,25	0	0	0,09	1,62	0,24	0	0	0	1,95
4,75	0	0	0,03	0,84	0,39	0	0	0	1,26
5,25	0	0,01	0,01	0,27	0,43	0	0	0	0,72
5,75	0	0	0	0,11	0,21	0	0	0	0,32
6,25	0	0	0	0,04	0,14	0	0	0	0,18
6,75	0	0	0	0,03	0,05	0,01	0	0	0,09
7,25	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0	0	0,04
7,75	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0,03
8,25	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,02
8,75	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
9,25	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
<b>Som</b>	0,00	18,30	56,51	23,25	1,79	0,06	0,00	0,00	99,91

**A.1.2.4 Westerland**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	13,79	4,34	0,39	0,04	0	0	0	18,56
0,75	0	23,54	15,42	0,39	0,01	0	0	0	39,36
1,25	0	5,92	17,19	0,05	0	0	0	0	23,16
1,75	0	0,05	12,01	0,06	0	0	0	0	12,12
2,25	0	0	4,08	0,18	0	0	0	0	4,26
2,75	0	0	1,38	0,22	0	0	0	0	1,60
3,25	0	0	0,1	0,46	0	0	0	0	0,56
3,75	0	0	0	0,21	0	0	0	0	0,21
4,25	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0,13
4,75	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0,03
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	43,30	54,52	2,12	0,05	0,00	0,00	0,00	99,99

**A.1.3 NCP**

**A.1.3.1 ELD**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	0,937	20,042	15,646	3,522	0,466	0,039	0	0	0	0	40,651
1,5	0	0	0	2,761	23,092	12,397	1,122	0,04	0,004	0	0	0	39,416
2,5	0	0	0	0	1,308	10,931	1,804	0,041	0,006	0,001	0	0	14,091
3,5	0	0	0	0	0	1,111	3,059	0,124	0	0	0	0	4,294
4,5	0	0	0	0	0	0,003	0,587	0,573	0,01	0	0	0	1,174
5,5	0	0	0	0	0	0	0,006	0,234	0,058	0	0	0	0,298
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,027	0,041	0,001	0	0	0,07
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,003	0	0	0,006
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	0,937	22,803	40,045	27,97	7,04	1,078	0,123	0,006	0	0	100



**A.1.3.2 EUR**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	2,311	28,554	12,567	2,13	0,064	0,001	0	0	0	0	45,628
1,5	0	0	0,004	7,777	24,558	5,228	0,232	0,001	0	0	0	0	37,801
2,5	0	0	0	0,007	4,093	8	0,415	0,001	0	0	0	0	12,516
3,5	0	0	0	0	0,033	2,079	1,29	0,004	0	0	0	0	3,407
4,5	0	0	0	0	0	0,023	0,498	0,05	0	0	0	0	0,57
5,5	0	0	0	0	0	0	0,033	0,037	0,001	0	0	0	0,071
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0,001	0	0	0	0,007
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,316	36,338	41,25	17,46	2,53	0,101	0,003	0	0	0	100

**A.1.3.3 K13**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	0,714	19,021	12,728	2,752	0,297	0,041	0,004	0	0	0	35,558
1,5	0	0	0	2,832	25,709	10,695	1,299	0,05	0,006	0,003	0	0	40,593
2,5	0	0	0	0	2,297	12,812	1,628	0,121	0,016	0	0	0	16,875
3,5	0	0	0	0	0	1,956	3	0,24	0,014	0,006	0	0	5,216
4,5	0	0	0	0	0	0,011	0,913	0,382	0,024	0,001	0	0	1,332
5,5	0	0	0	0	0	0	0,05	0,24	0,063	0,004	0	0	0,356
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,033	0,001	0	0	0,064
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0,001	0	0,006
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	0,714	21,853	40,734	28,23	7,19	1,104	0,161	0,019	0,001	0	100

**A.1.3.4 LEG**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	2,982	32,436	14,448	2,284	0,061	0,001	0	0	0	0	52,213
1,5	0	0	0,001	7,545	22,169	4,777	0,16	0,001	0	0	0	0	34,654
2,5	0	0	0	0,014	3,879	6,142	0,265	0,001	0	0	0	0	10,301
3,5	0	0	0	0	0,037	1,48	0,776	0,006	0	0	0	0	2,299
4,5	0	0	0	0	0	0,031	0,405	0,026	0	0	0	0	0,462
5,5	0	0	0	0	0	0	0,036	0,03	0	0	0	0	0,066
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0	0	0	0	0,006
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,983	39,995	40,533	14,72	1,7	0,071	0	0	0	0	100

**A.1.3.5 MPN**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0,003	4,746	30,784	19,626	4,298	0,355	0,026	0,003	0	0	0	59,839
1,5	0	0	0,001	2,829	20,711	6,598	0,279	0,011	0	0	0	0	30,43
2,5	0	0	0	0	0,908	5,978	0,809	0,007	0	0	0	0	7,702
3,5	0	0	0	0	0	0,375	1,188	0,073	0	0	0	0	1,636
4,5	0	0	0	0	0	0	0,163	0,161	0,001	0	0	0	0,325
5,5	0	0	0	0	0	0	0,003	0,05	0,013	0	0	0	0,066
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0	0	0	0	0,003
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	4,747	33,613	41,245	17,25	2,8	0,331	0,017	0	0	0	100

**A.1.3.6 SCW**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	7,06	41,943	17,009	2,524	0,068	0,006	0	0	0	0	68,61
1,5	0	0	0	7,12	17,317	2,568	0,05	0,001	0	0	0	0	27,056
2,5	0	0	0	0	0,903	2,709	0,177	0	0	0	0	0	3,789
3,5	0	0	0	0	0	0,165	0,339	0,007	0	0	0	0	0,512
4,5	0	0	0	0	0	0	0,024	0,009	0	0	0	0	0,033
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	7,06	49,063	35,228	7,967	0,66	0,023	0	0	0	0	100

**A.1.3.7 SON**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0,001	2,802	26,239	16,446	4,694	0,97	0,171	0,041	0,02	0	0	51,385
1,5	0	0	0	3,207	19,832	11,706	1,222	0,054	0,001	0,003	0	0	36,026
2,5	0	0	0	0	0,692	6,686	1,81	0,064	0,013	0,004	0	0,001	9,27
3,5	0	0	0	0	0	0,222	1,82	0,304	0,009	0	0	0	2,354
4,5	0	0	0	0	0	0	0,171	0,522	0,048	0	0	0	0,742
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0,073	0,103	0,001	0	0	0,177
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,017	0,016	0	0	0,033
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,011	0	0	0,013
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,802	29,446	36,97	23,31	5,99	1,188	0,234	0,056	0,001	0,001	100

**A.1.3.8 SWB**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	4,251	33,119	14,472	2,55	0,121	0,009	0	0	0	0	54,522
1,5	0	0	0	6,527	22,603	4,883	0,154	0	0	0	0	0	34,166
2,5	0	0	0	0	2,329	6,515	0,385	0	0	0	0	0	9,229
3,5	0	0	0	0	0,001	0,766	1,032	0,007	0	0	0	0	1,807
4,5	0	0	0	0	0	0,001	0,202	0,06	0	0	0	0	0,264
5,5	0	0	0	0	0	0	0,007	0,006	0	0	0	0	0,013
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	4,251	39,646	39,405	14,72	1,9	0,081	0	0	0	0	100

**A.1.3.9 YM6**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	1,437	24,421	15,041	3,653	0,405	0,04	0,009	0	0	0	45,006
1,5	0	0	0	3,919	24,026	8,925	0,709	0,046	0,004	0	0,001	0,001	37,631
2,5	0	0	0	0	1,812	9,531	1,181	0,048	0,004	0	0	0	12,577
3,5	0	0	0	0	0,001	1,087	2,376	0,175	0,007	0	0	0	3,646
4,5	0	0	0	0	0	0,006	0,486	0,416	0,014	0	0	0	0,923
5,5	0	0	0	0	0	0	0,009	0,124	0,047	0	0	0	0,18
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,007	0,02	0,006	0	0	0,033
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,004
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	1,437	28,34	40,881	23,2	5,17	0,857	0,107	0,009	0,001	0,001	100

## A.2 Scatter diagrammen voor de methode met de vaste diffractiecoëfficiënt

### A.2.1 Scatter diagram voor de 2<sup>de</sup> rij (Westhinder)

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,120	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,361	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,722	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,204	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,685	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,167	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,648	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,130	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,611	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
4,093	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,574	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,056	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,537	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,019	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

### A.2.2 Scatter diagram voor de 3<sup>de</sup> rij (Westhinder)

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,116	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,348	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,695	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,159	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,623	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,086	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,550	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,013	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,477	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,941	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,404	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,868	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,331	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,795	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.3 Scatter diagram voor de 4<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,112	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,335	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,670	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,116	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,562	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,009	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,455	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,901	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,348	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,794	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,240	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,687	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,133	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,579	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.4 Scatter diagram voor de 5<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,107	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,322	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,645	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,074	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,504	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,934	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,363	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,793	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,223	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,653	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,082	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,512	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,942	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,372	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.5 Scatter diagram voor de 6<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,103	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,310	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,621	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,034	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,448	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,862	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,276	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,689	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,103	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,517	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,931	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,344	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,758	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,172	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.6 Scatter diagram voor de 7<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,100	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,299	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,597	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,996	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,394	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,792	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,191	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,589	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,987	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,386	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,784	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,182	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,581	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,979	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.7 Scatter diagram voor de 8<sup>ste</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,096	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,288	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,575	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,959	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,342	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,726	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,109	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,493	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,876	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,260	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,643	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
4,027	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,410	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,794	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.8 Scatter diagram voor de 9<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,092	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,277	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,554	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,923	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,292	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,662	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,031	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,400	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,769	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,138	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,508	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
3,877	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,246	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,615	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.2.9 Scatter diagram voor de 10<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,089	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,267	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,533	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,889	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,244	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,600	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
1,956	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,311	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,667	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,022	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,378	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
3,733	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,089	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,444	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100



### A.3 Scatter diagrammen voor de methode met de variabele diffractiecoëfficiënt

#### A.3.1 Scatter diagram voor de 2<sup>de</sup> rij (Westhinder)

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,735	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,212	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,688	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,168	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,652	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,149	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,645	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
4,152	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,643	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

#### A.3.2 Scatter diagram voor de 3<sup>de</sup> rij (Westhinder)

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,718	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,169	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,617	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,075	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,544	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,036	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,534	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
4,048	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,533	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.3 Scatter diagram voor de 4<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,702	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,127	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,549	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,984	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,437	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,926	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,422	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,945	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,420	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.4 Scatter diagram voor de 5<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,688	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,090	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,489	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,903	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,341	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,823	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,319	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,844	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,314	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.5 Scatter diagram voor de 6<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,673	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,052	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,428	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,819	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,240	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,716	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,211	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,740	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,205	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.6 Scatter diagram voor de 7<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,660	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,016	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,367	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,736	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,143	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,609	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,107	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,635	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
4,098	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.7 Scatter diagram voor de 8<sup>ste</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,647	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,981	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,308	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,657	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,049	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,503	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,005	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,529	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,994	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.8 Scatter diagram voor de 9<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,635	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,948	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,251	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,580	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
1,959	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,398	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,907	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,422	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,893	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

**A.3.9 Scatter diagram voor de 10<sup>de</sup> rij (Westhinder)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,623	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
0,917	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,196	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
1,506	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
1,873	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
2,296	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
2,809	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
3,317	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07
3,789	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,750	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,250	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

## A.4 Scatter diagrammen na shoaling en breking voor een diepte van 6,5 m

### A.4.1 BCP

#### A.4.1.1 Westhinder

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0	0,06	0,64	0,21	0,02	0	0	0	0,93
0,375	0,05	4,46	11,69	3,86	0,53	0,06	0,01	0	20,66
0,75	0,01	6,12	20,51	8,38	1,91	0,3	0,02	0	37,25
1,25	0	0,29	10,63	8,98	1,83	0,27	0,02	0	22,02
1,75	0	0	1,89	6,46	2,02	0,27	0,01	0	10,65
2,25	0	0	0,04	2,67	2	0,42	0,01	0	5,14
2,75	0	0	0	0,57	1,17	0,5	0,02	0	2,26
3,25	0	0	0	0,04	0,46	0,26	0,04	0	0,80
3,75	0	0	0	0	0,09	0,07	0,05	0	0,21
4,25	0	0	0	0	0,02	0	0,02	0	0,04
4,75	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0,03
5,25	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,06	10,93	45,40	31,17	10,05	2,19	0,20	0,00	100

#### A.4.1.2 Wandelaar

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,33	5,21	1,83	0,02	0	0	0	0	7,39
0,375	0,84	17,51	8,6	1,33	0,04	0	0	0	28,32
0,75	0,02	14,51	20,38	3,82	0,38	0	0	0	39,11
1,25	0	0,51	11,12	4,59	0,25	0,01	0	0	16,48
1,75	0	0	1,54	3,87	0,33	0	0	0	5,74
2,25	0	0	0,04	1,11	0,7	0,01	0	0	1,86
2,75	0	0	0	0,14	0,59	0,04	0	0	0,77
3,25	0	0	0	0	0,19	0,11	0	0	0,30
3,75	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,04
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	1,19	37,74	43,51	14,88	2,49	0,20	0,00	0,00	100

**A.4.1.3 Trapegeer**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	3,39	11,73	3,02	0,13	0	0	0	0	18,27
0,375	3,34	23,32	6,43	1,16	0,05	0	0	0	34,30
0,75	0,14	17,24	13,9	1,56	0,13	0	0	0	32,97
1,25	0,01	0,55	7,62	2,09	0,06	0	0	0	10,33
1,75	0	0,01	0,91	2,01	0,13	0	0	0	3,06
2,25	0	0	0,03	0,49	0,3	0	0	0	0,82
2,75	0	0	0	0,03	0,16	0,01	0	0	0,20
3,25	0	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0,03
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	6,88	52,85	31,91	7,47	0,85	0,02	0,00	0,00	100

**A.4.1.4 Oostende (periode: 1997 - 2002)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,28	8,97	7,65	0,95	0,07	0	0	0	17,92
0,375	0,21	15,27	15,2	3,68	0,5	0,02	0	0	34,88
0,75	0	7,47	23,43	3,35	0,53	0,02	0	0	34,80
1,25	0	0,01	4,97	3,16	0,22	0,01	0	0	8,37
1,75	0	0	0,12	2,24	0,29	0	0	0	2,65
2,25	0	0	0	0,36	0,67	0,01	0	0	1,04
2,75	0	0	0	0,01	0,23	0,05	0	0	0,29
3,25	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,04
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,49	31,72	51,37	13,75	2,52	0,14	0,00	0,00	100

**A.4.1.5 Oostende (periode: 1997 - 2002)**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,08	8,53	6,91	0,67	0,05	0	0	0	16,24
0,375	0,24	16,77	13,83	3,57	0,53	0,01	0	0	34,95
0,75	0,01	8,79	21,17	3,7	0,69	0,02	0	0	34,38
1,25	0	0,04	7,16	2,44	0,2	0,01	0	0	9,85
1,75	0	0	0,33	2,25	0,16	0	0	0	2,74
2,25	0	0	0	0,77	0,41	0	0	0	1,18
2,75	0	0	0	0,03	0,49	0,01	0	0	0,53
3,25	0	0	0	0	0,08	0,04	0	0	0,12
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,33	34,13	49,40	13,43	2,61	0,09	0,00	0,00	100

**A.4.1.6 Bol van Heist**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,01	1,62	4,69	1,38	0,29	0,06	0,02	0	8,07
0,375	0,17	8,61	15,69	5,36	1,23	0,17	0,02	0	31,25
0,75	0,05	5,87	23,06	7,85	1,33	0,21	0,02	0	38,39
1,25	0	0,22	6,44	6,94	0,96	0,08	0	0	14,64
1,75	0	0	0,73	2,94	1,34	0,09	0	0	5,10
2,25	0	0	0,04	0,67	0,86	0,33	0	0	1,90
2,75	0	0	0	0,05	0,29	0,2	0,01	0	0,55
3,25	0	0	0	0	0,03	0,03	0,02	0	0,08
3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,23	16,32	50,65	25,19	6,33	1,17	0,09	0,00	100



**A.4.1.7 Akkaart**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1,25	3	4	5	6	7	8	9	Som
0,125	0,22	1,85	1,07	0,02	0	0	0	0	3,16
0,375	2,96	12,17	4,96	0,75	0,02	0	0	0	20,86
0,75	1,66	18,12	15,56	2,94	0,26	0	0	0	38,54
1,25	0	3	13,32	4,32	0,25	0,01	0	0	20,90
1,75	0	0,17	3,97	5,35	0,31	0	0	0	9,80
2,25	0	0,03	0,49	2,97	0,74	0,01	0	0	4,24
2,75	0	0,01	0,04	0,78	0,82	0,02	0	0	1,67
3,25	0	0	0	0,1	0,48	0,05	0	0	0,63
3,75	0	0	0	0,01	0,11	0,04	0	0	0,16
4,25	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01
4,75	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0,02
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	4,84	35,35	39,41	17,24	3,00	0,15	0,00	0,00	100

**A.4.2 DCP****A.4.2.1 Fino**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	6,69	2,32	0,13	0	0	0	0	9,14
0,75	0	13,65	13,36	0,28	0,02	0	0	0	27,31
1,25	0	3,6	18,2	0,75	0	0	0	0	22,55
1,75	0	0,04	17,39	1,12	0,06	0	0	0	18,61
2,25	0	0	8,52	1,72	0	0	0	0	10,24
2,75	0	0	3,16	0	0,01	0	0	0	3,17
3,25	0	0	0,84	1,92	0	0	0	0	2,76
3,75	0	0	0,01	2,51	0	0	0	0	2,52
4,25	0	0	0	1,59	0	0	0	0	1,59
4,75	0	0	0	0,84	0,04	0	0	0	0,88
5,25	0	0	0	0,63	0,58	0	0	0	1,21
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	23,98	63,80	11,49	0,71	0,00	0,00	0,00	99,98

**A.4.2.2 Helgoland**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	18,96	4,52	0,03	0	0	0	0	23,51
0,75	0	19,63	13,88	0,07	0	0	0	0	33,58
1,25	0	4,19	17,09	0,14	0	0	0	0	21,42
1,75	0	0,06	11,08	0,26	0	0	0	0	11,40
2,25	0	0	4,82	0	0	0	0	0	4,82
2,75	0	0	1,56	0,51	0	0	0	0	2,07
3,25	0	0	0,26	0,91	0	0	0	0	1,17
3,75	0	0	0,01	0,87	0	0	0	0	0,88
4,25	0	0	0	0,51	0,02	0	0	0	0,53
4,75	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0,22
5,25	0	0	0	0,17	0,22	0	0	0	0,39
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	42,84	53,22	3,69	0,24	0,00	0,00	0,00	99,99

**A.4.2.3 NSBII**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	4,34	1,49	0,05	0,01	0	0	0	5,89
0,75	0	11,33	11,54	0,46	0,02	0	0	0	23,35
1,25	0	2,36	16,66	1,31	0	0	0	0	20,33
1,75	0	0,14	14,37	2,49	0,04	0	0	0	17,04
2,25	0	0,06	7,72	3,09	0,03	0	0	0	10,90
2,75	0	0,03	3,51	4,98	0,03	0	0	0	8,55
3,25	0	0,04	0,78	4,51	0,03	0	0	0	5,36
3,75	0	0	0,4	0	0,04	0	0	0	0,44
4,25	0	0	0,04	3,42	0	0	0	0	3,46
4,75	0	0	0	1,62	0,1	0	0	0	1,72
5,25	0	0	0	1,32	1,49	0,06	0	0	2,87
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	18,30	56,51	23,25	1,79	0,06	0,00	0,00	99,91

**A.4.2.4 Westerland**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	1	3	5	7	9	11	13	15	Som
0,25	0	13,79	4,34	0,39	0,04	0	0	0	18,56
0,75	0	23,54	15,42	0,39	0,01	0	0	0	39,36
1,25	0	5,92	17,19	0,05	0	0	0	0	23,16
1,75	0	0,05	12,01	0,06	0	0	0	0	12,12
2,25	0	0	4,08	0	0	0	0	0	4,08
2,75	0	0	1,38	0,18	0	0	0	0	1,56
3,25	0	0	0,1	0,22	0	0	0	0	0,32
3,75	0	0	0	0,46	0	0	0	0	0,46
4,25	0	0	0	0,21	0	0	0	0	0,21
4,75	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0,13
5,25	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0,03
5,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
9,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Som</b>	0,00	43,30	54,52	2,12	0,05	0,00	0,00	0,00	99,99

**A.4.3 NCP****A.4.3.1 ELD**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	0,937	20,042	15,646	3,522	0,466	0,039	0	0	0	0	40,652
1,5	0	0	0	2,761	23,092	12,397	1,122	0,04	0,004	0	0	0	39,416
2,5	0	0	0	0	1,308	10,931	1,804	0,041	0,006	0	0	0	14,09
3,5	0	0	0	0	0	1,111	3,059	0	0	0,001	0	0	4,171
4,5	0	0	0	0	0	0,003	0,587	0,124	0	0	0	0	0,714
5,5	0	0	0	0	0	0	0,006	0,834	0,112	0,004	0	0	0,956
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	0,937	22,803	40,046	27,96	7,04	1,078	0,122	0,005	0	0	100

**A.4.3.2 EUR**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	2,311	28,554	12,567	2,13	0,064	0,001	0	0	0	0	45,627
1,5	0	0	0,004	7,777	24,558	5,228	0,232	0,001	0	0	0	0	37,8
2,5	0	0	0	0,007	4,093	8	0,415	0,001	0	0	0	0	12,516
3,5	0	0	0	0	0,033	2,079	1,29	0,004	0	0	0	0	3,406
4,5	0	0	0	0	0	0,023	0,498	0	0	0	0	0	0,521
5,5	0	0	0	0	0	0	0,033	0,093	0,002	0	0	0	0,128
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,315	36,338	41,251	17,46	2,53	0,1	0,002	0	0	0	100

**A.4.3.3 K13**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	0,714	19,021	12,728	2,752	0,297	0,041	0,004	0	0	0	35,557
1,5	0	0	0	2,832	25,709	10,695	1,299	0,05	0,006	0,003	0	0	40,594
2,5	0	0	0	0	2,297	12,812	1,628	0,121	0	0	0	0	16,858
3,5	0	0	0	0	0	1,956	3	0,24	0,016	0	0	0	5,212
4,5	0	0	0	0	0	0,011	0,913	0	0,014	0,006	0	0	0,944
5,5	0	0	0	0	0	0	0,05	0,652	0,121	0,009	0,001	0	0,833
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	0,714	21,853	40,734	28,23	7,19	1,104	0,161	0,018	0,001	0	100

**A.4.3.4 LEG**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	2,982	32,436	14,448	2,284	0,061	0,001	0	0	0	0	52,212
1,5	0	0	0,001	7,545	22,169	4,777	0,16	0,001	0	0	0	0	34,653
2,5	0	0	0	0,014	3,879	6,142	0,265	0,001	0	0	0	0	10,301
3,5	0	0	0	0	0,037	1,48	0,776	0	0	0	0	0	2,293
4,5	0	0	0	0	0	0,031	0,405	0,006	0	0	0	0	0,442
5,5	0	0	0	0	0	0	0,036	0,062	0	0	0	0	0,098
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,983	39,995	40,533	14,71	1,7	0,071	0	0	0	0	100

**A.4.3.5 MPN**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0,003	4,746	30,784	19,626	4,298	0,355	0,026	0,003	0	0	0	59,841
1,5	0	0	0,001	2,829	20,711	6,598	0,279	0,011	0	0	0	0	30,429
2,5	0	0	0	0	0,908	5,978	0,809	0,007	0	0	0	0	7,702
3,5	0	0	0	0	0	0,375	1,188	0,073	0	0	0	0	1,636
4,5	0	0	0	0	0	0	0,163	0	0	0	0	0	0,163
5,5	0	0	0	0	0	0	0,003	0,214	0,014	0	0	0	0,231
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	4,747	33,613	41,245	17,25	2,8	0,331	0,017	0	0	0	100

**A.4.3.6 SCW**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	7,06	41,943	17,009	2,524	0,068	0,006	0	0	0	0	68,61
1,5	0	0	0	7,12	17,317	2,568	0,05	0,001	0	0	0	0	27,056
2,5	0	0	0	0	0,903	2,709	0,177	0	0	0	0	0	3,789
3,5	0	0	0	0	0	0,165	0,339	0,007	0	0	0	0	0,511
4,5	0	0	0	0	0	0	0,024	0	0	0	0	0	0,024
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0	0	0	0,009
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	7,06	49,063	35,229	7,966	0,66	0,023	0	0	0	0	100

**A.4.3.7 SON**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0,001	2,802	26,239	16,446	4,694	0,97	0,171	0,041	0,02	0	0	51,384
1,5	0	0	0	3,207	19,832	11,706	1,222	0,054	0,001	0,003	0	0	36,025
2,5	0	0	0	0	0,692	6,686	1,81	0,064	0,013	0	0	0	9,265
3,5	0	0	0	0	0	0,222	1,82	0,304	0	0,004	0	0,001	2,351
4,5	0	0	0	0	0	0	0,171	0	0,009	0	0	0	0,18
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0,595	0,169	0,028	0,001	0	0,793
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	2,802	29,446	36,97	23,31	5,99	1,188	0,233	0,055	0,001	0,001	100

**A.4.3.8 SWB**

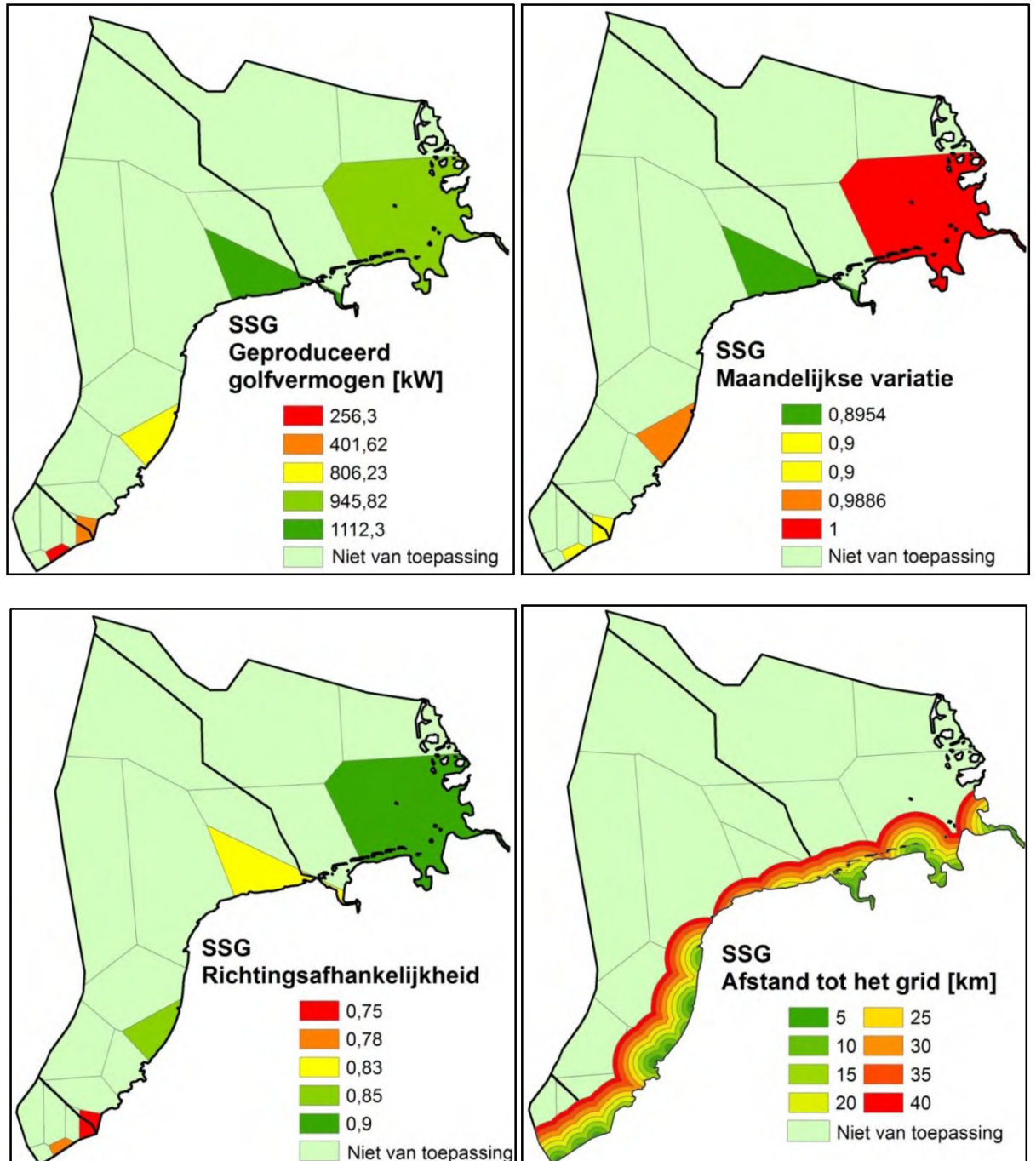
$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	4,251	33,119	14,472	2,55	0,121	0,009	0	0	0	0	54,522
1,5	0	0	0	6,527	22,603	4,883	0,154	0	0	0	0	0	34,167
2,5	0	0	0	0	2,329	6,515	0,385	0	0	0	0	0	9,229
3,5	0	0	0	0	0,001	0,766	1,032	0	0	0	0	0	1,799
4,5	0	0	0	0	0	0,001	0,202	0,007	0	0	0	0	0,21
5,5	0	0	0	0	0	0	0,007	0,066	0	0	0	0	0,073
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	4,251	39,646	39,405	14,72	1,9	0,082	0	0	0	0	100

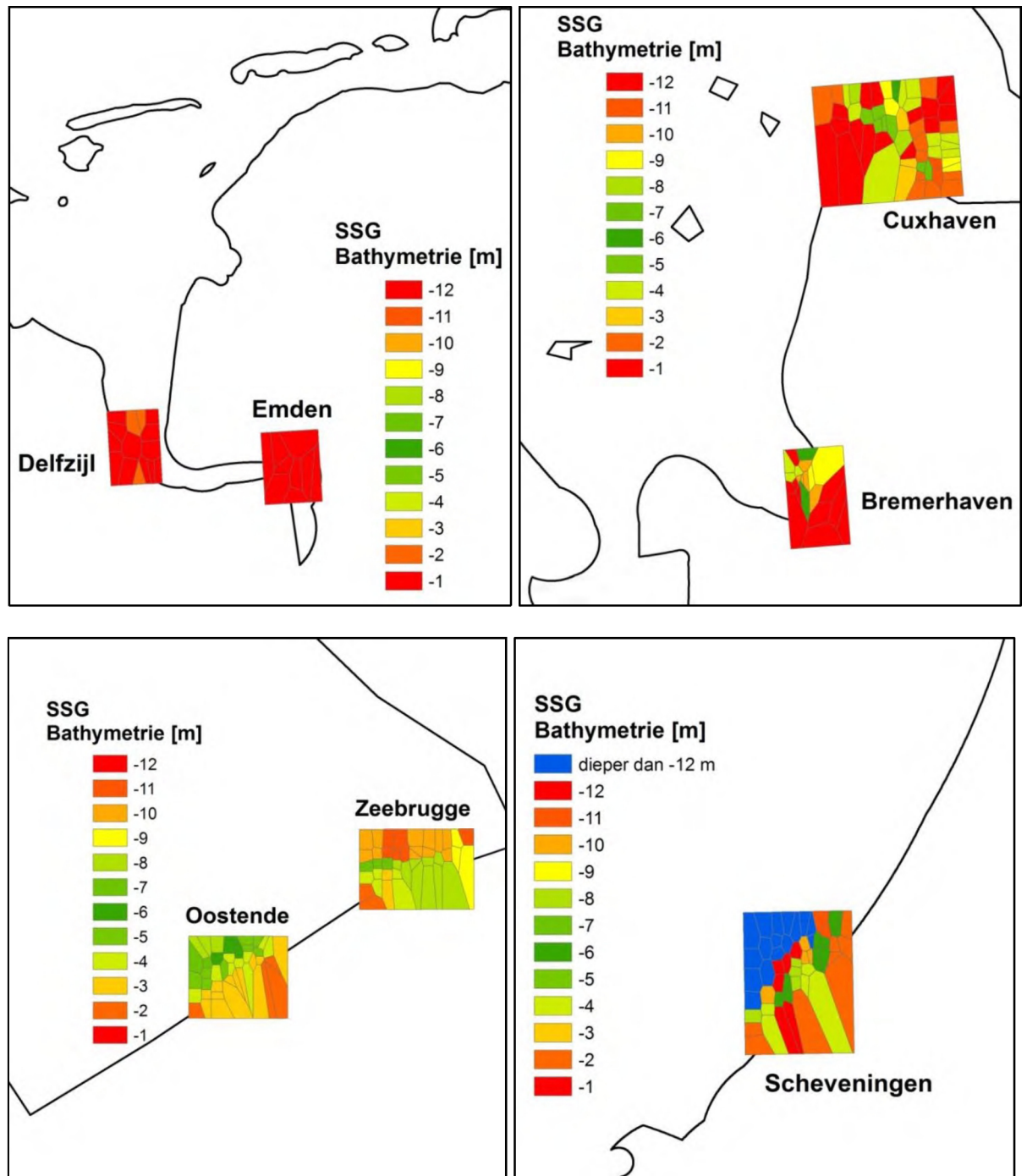
**A.4.3.9 YM6**

$T_{m0,2}$ [s] $H_s$ [m]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Som
0,5	0	0	1,437	24,421	15,041	3,653	0,405	0,04	0,009	0	0	0	45,006
1,5	0	0	0	3,919	24,026	8,925	0,709	0,046	0,004	0	0,001	0,001	37,631
2,5	0	0	0	0	1,812	9,531	1,181	0,048	0,004	0	0	0	12,576
3,5	0	0	0	0	0,001	1,087	2,376	0,175	0	0	0	0	3,639
4,5	0	0	0	0	0	0,006	0,486	0	0,007	0	0	0	0,499
5,5	0	0	0	0	0	0	0,009	0,547	0,082	0,009	0	0	0,647
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Som</b>	0	0	1,437	28,34	40,88	23,2	5,17	0,856	0,106	0,009	0,001	0,001	100

# Bijlage B: Figuren scoreverdeling

## B.1 SSG

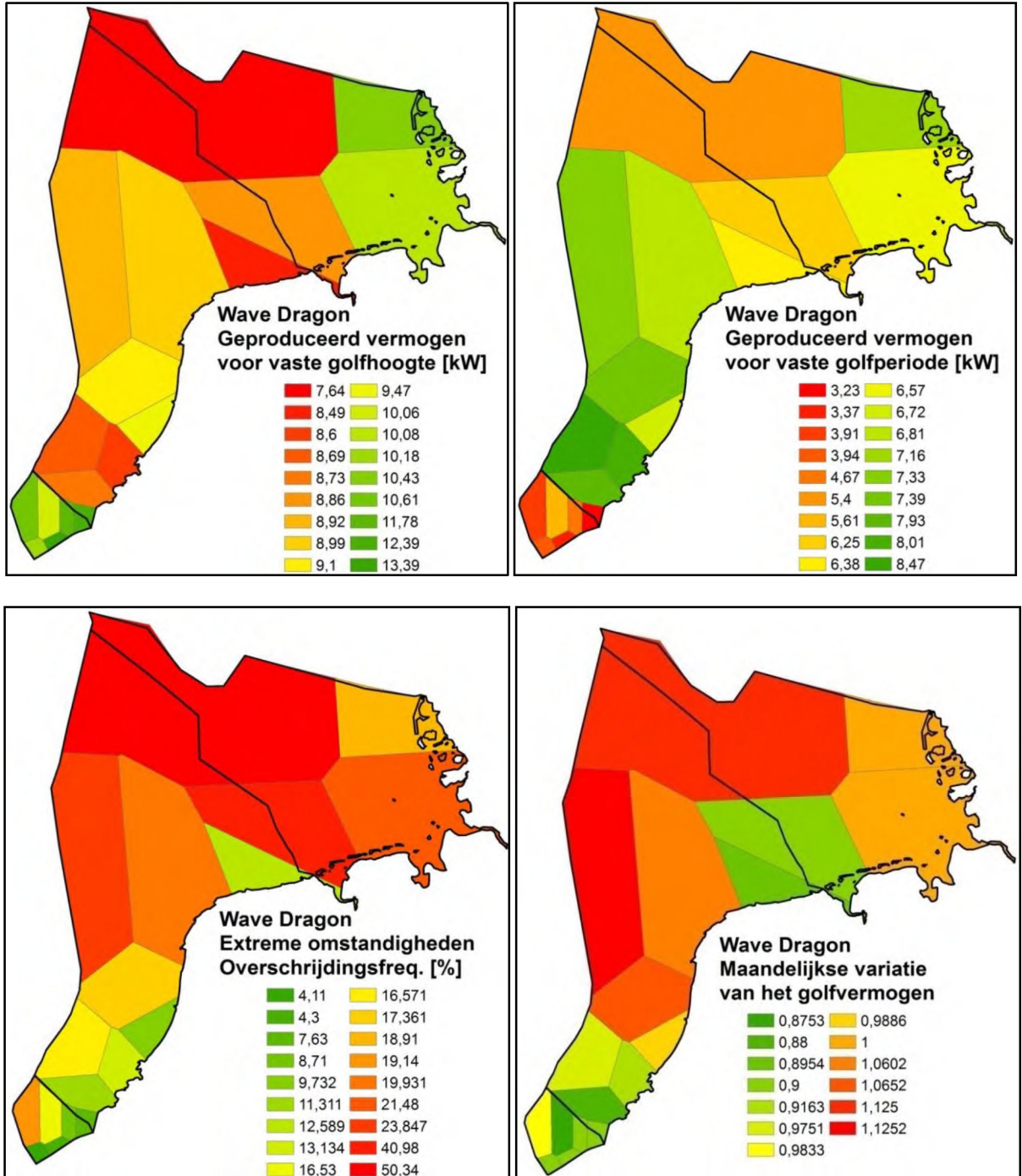




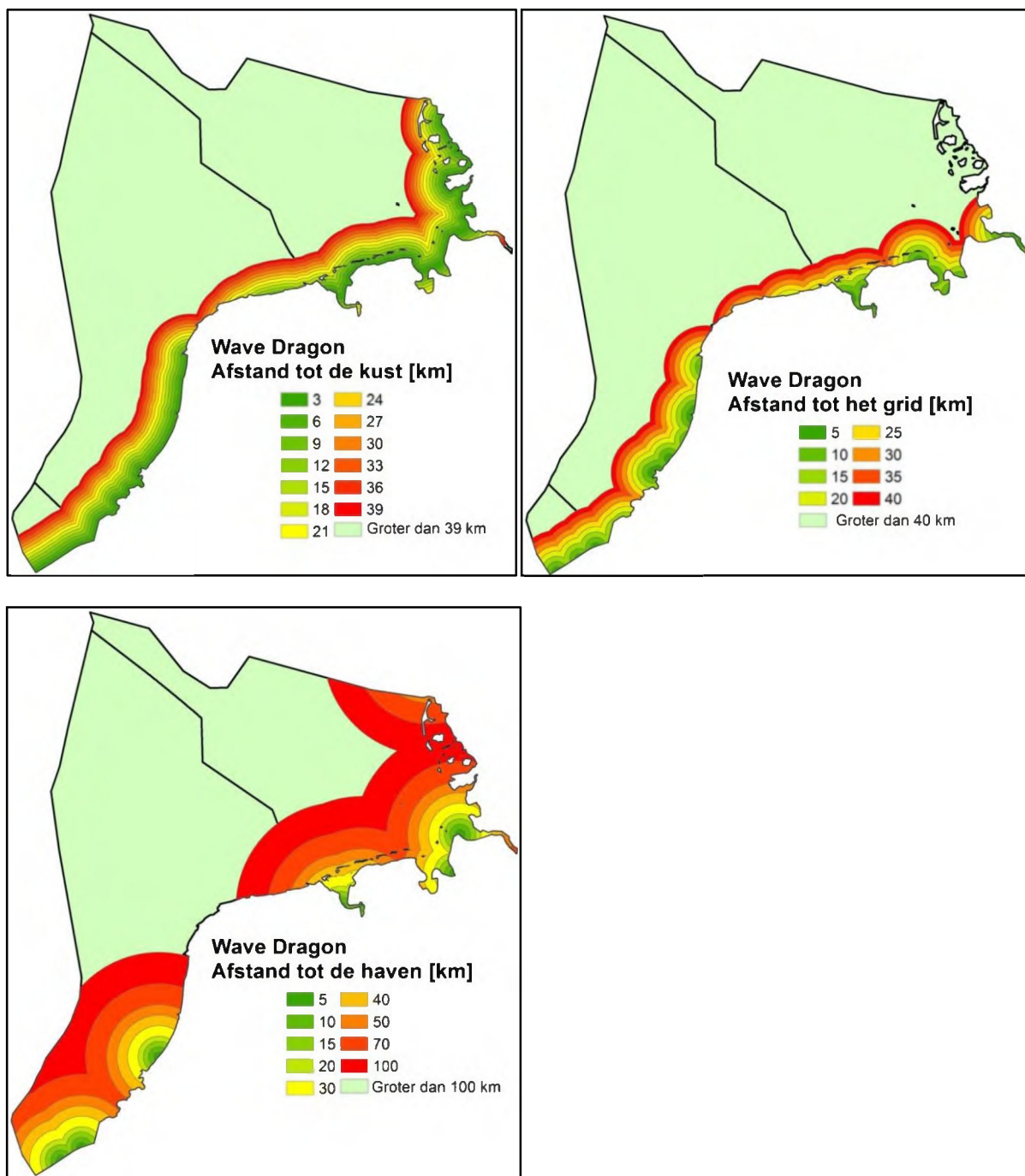


## B.2 Wave Dragon

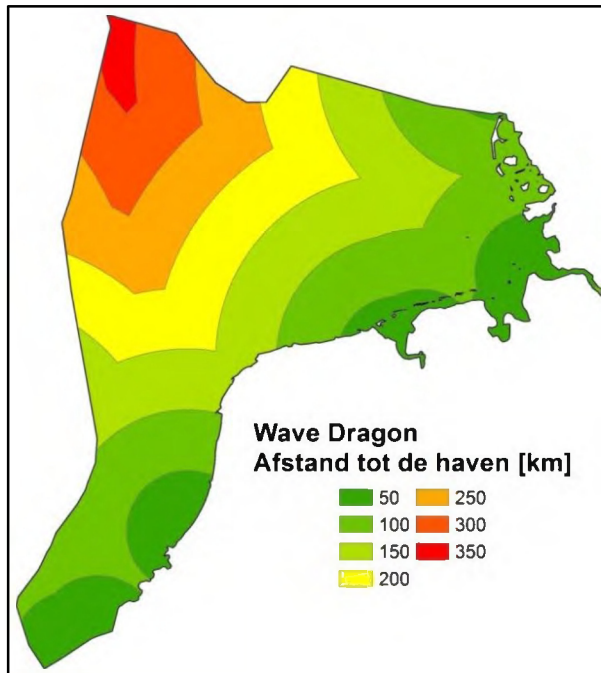
### B.2.1 Gemeenschappelijke factoren bij parken binnen 12-mijlszone en parken in nabijheid van windmolenparken



**B.2.2 Factoren enkel van toepassing bij analyse binnen 12-mijlszone**



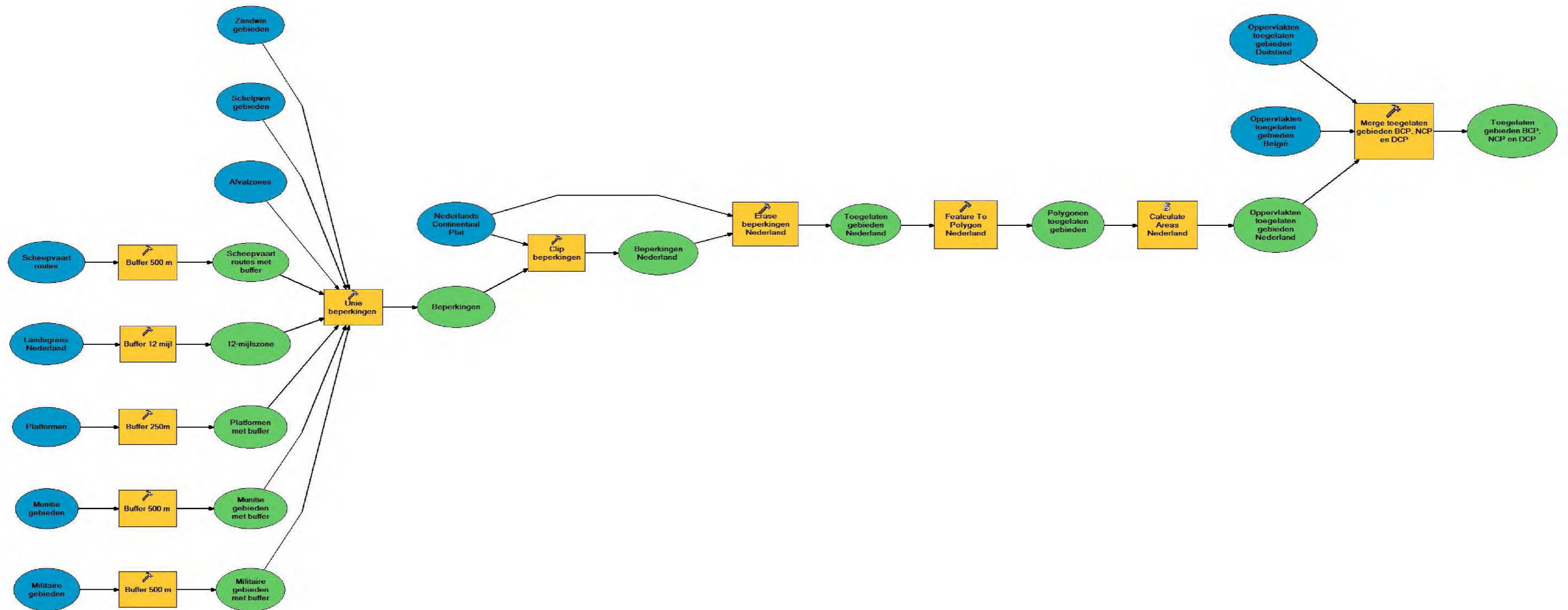
***B.2.3 Factoren enkel van toepassing bij analyse nabij windmolenparken***



# Bijlage C: Modellen

# C.1 Model van de beperkingen

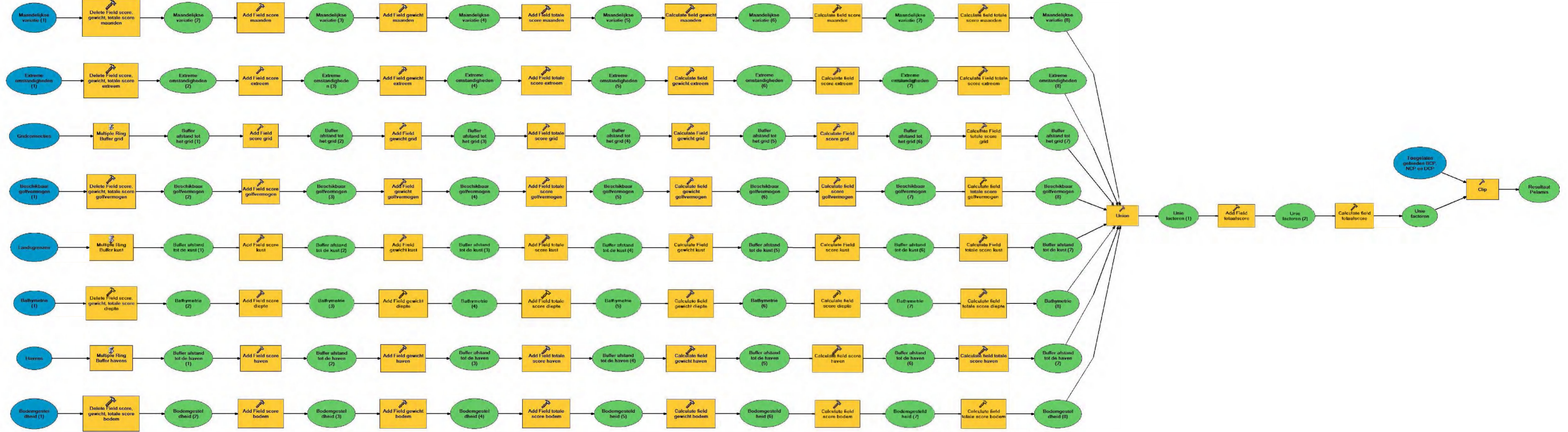
Dit model stelt enkel de beperkingen van Nederland voor, de methode is analoog voor België en Duitsland.





# C.2 Model van de factoren

Dit model is van toepassing op de Pelamis, voor de SSG en Wave Dragon is het model gelijkaardig.



# Bijlage D: Economische studie

## D.1 Variaties van de NPV (DCP, gebied 2)

	NPV [€]	maximale variatie van de NPV [€]
<b>1. disconto</b>		
maximum	42.557.459	150.327.014
basis	-56.742.656	
minimum	-107.769.555	
<b>2. leercurve</b>		
maximum	-31.894.088	108.476.507
basis	-56.742.656	
minimum 1	-91.747.566	
minimum 2	-140.370.595	
<b>3. Overige kostprijzen</b>		
maximum	-29.828.929	53.827.454
basis	-56.742.656	
minimum	-83.656.382	
<b>4. GSC</b>		
minimum	-56.742.656	16.797.481
basis	-39.945.175	
<b>5. elektriciteitsprijs</b>		
minimum	-114.562.426	115.639.541
basis	-56.742.656	
maximum	1.077.115	
<b>6. kabelsubsidie</b>		
basis	-56.742.656	23.005.047
maximum	-33.737.609	
<b>7.prijs toestel</b>		
basis	-56.742.656	107.589.594
minimum	-164.332.250	
<b>8. 1vs 2kabels</b>		
basis	-81.911.752	47.272.505
maximum	-34.639.247	

## D.2 Variaties van de NPV (NCP)

	NPV [€]	maximale variatie van de NPV [€]
<b>1. disconto</b>		
maximum	221.923.313	339.570.652
basis	-3.949.535	
minimum	-117.647.339	
<b>2. leercurve</b>		
maximum	43.776.856	221.174.158
basis	-3.949.535	
minimum 1	-74.575.367	
minimum 2	-177.397.302	
<b>3. Overige kostprijzen</b>		
maximum	46.107.469	100.114.009
basis	-3.949.535	
minimum	-54.006.540	
<b>4. GSC</b>		
minimum	-3.949.535	0
basis	-3.949.535	
<b>5. elektriciteitsprijs</b>		
minimum	-111.771.707	215.644.344
basis	-3.949.535	
maximum	103.872.637	
<b>6. kabelsubsidie</b>		
basis	-3.949.535	13.500.000
maximum	-17.449.535	
<b>7.prijs toestel</b>		
basis	-3.949.535	188.253.216
minimum	-192.202.751	
<b>8. 1vs 2kabels</b>		
basis	18.814.991	84.123.208
maximum	102.938.199	



### D.3 Data S-curves

Gebied 1 (DCP)		Gebied 2 (DCP)		Gebied NCP	
NPV [milj €]	Cumul. Prob. [%]	NPV [milj €]	Cumul. Prob. [%]	NPV [milj €]	Cumul. Prob. [%]
-211,63	0,25	-236,98	0,25	-375,65	0,25
-172,41	2,25	-198,19	2,25	-286,68	2,25
-164,25	2,50	-189,59	2,50	-285,22	4,25
-164,13	4,50	-189,27	4,50	-275,44	4,50
-130,13	4,75	-155,48	4,75	-206,61	4,75
-123,79	6,75	-149,57	6,75	-197,72	5,00
-116,74	8,75	-141,88	8,75	-186,48	7,00
-116,63	9,00	-141,56	9,00	-182,40	9,00
-114,84	25,00	-140,37	25,00	-177,40	25,00
-105,92	25,25	-131,26	25,25	-160,10	25,25
-96,54	25,50	-123,19	25,50	-117,65	27,25
-88,78	27,50	-114,56	27,50	-111,77	29,25
-82,63	29,50	-107,77	29,50	-105,55	29,50
-69,24	29,75	-94,18	29,75	-97,51	29,75
-66,21	45,75	-91,75	45,75	-74,58	45,75
-63,93	47,75	-89,71	47,75	-71,14	47,75
-58,41	49,75	-83,55	49,75	-69,58	49,75
-57,27	51,75	-82,55	51,75	-64,05	51,75
-45,46	52,00	-72,11	52,00	-28,68	52,00
-35,13	52,25	-60,06	52,25	-3,95	68,00
-31,21	68,25	-56,74	68,25	2,47	68,25
-18,97	70,25	-45,30	70,25	17,83	68,50
-10,91	70,50	-35,84	70,50	33,25	70,50
-8,68	70,75	-35,34	70,75	39,71	72,50
-8,64	72,75	-33,93	72,75	43,78	88,50
-6,36	88,75	-31,89	88,75	76,66	88,75
17,42	89,00	-9,24	89,00	103,87	90,75
26,36	91,00	1,08	91,00	126,80	91,00
32,11	93,00	5,78	93,00	147,73	93,00
51,21	95,00	25,93	95,00	151,60	95,00
58,59	95,25	32,60	95,25	184,98	95,25
68,88	97,25	42,56	97,25	221,92	97,25
94,98	99,25	68,66	99,25	272,06	99,25
109,67	99,50	83,68	99,50	292,99	99,50
146,44	99,75	120,46	99,75	367,19	99,75
172,55	100,00	146,56	100,00	417,32	100,00

## D.4 Overzicht besproken locaties Pelamis

	Gebied 1 (DCP)	Gebied 2 (DCP)	Locatie op NCP
<b>Specificaties locaties</b>			
Afmeting locatie [km x km]	3 x 36	4 x 40	2,8 x 56
Totale afstand op zee [km]	32	42	67
Totale afstand vaarroutes [km]	6	12	28,5
Totale afstand op land [km]	15	15	17
<b>Specificatie aantal toestellen</b>			
Totaal aantal toestellen [-]	353	353	674
Aantal toestellen 1ste rij [-]	181	201	281
Aantal toestellen 2de rij [-]	172	152	280
Aantal toestellen 3de rij [-]	0	0	113
<b>Vermogen</b>			
Maximaal vermogen [MW]	264,75	264,75	505,50
Geproduceerd vermogen [MWh/jaar]	338.116	339.574	633.238
<b>Type AC-kabel</b>			
Spanning [kV]	220	220	420
Oppervlakte [mm <sup>2</sup> ]	630	630	800
<b>Economie</b>			
NPV [€]	-31.209.984	-56.742.656	-3.949.535
IRR [%]	8,55	7,49	9,91
Prijs [€ / kW]	6.502	6.868	6.781

---

# Bibliografie

- [1] Henfridsson, U., Neimance, V., Strand, K., Kapper, R., Bernhoff, H., Danielsson, O., Leijon, M., Sundberg, J., Thorburn, K., Ericsson, E., Bergman, K., Wave Energy Potential in the Baltic Sea and the Danish Part of the North Sea, with Reflections on the Skagerrak, Stockholm, Sweden, December, 2006
- [2] Petroncini, S., Yemm, R. W., Introducing Wave Energy into the Renewable Energy Marketplace, Edinburgh, Scotland, UK, 2001
- [3] Ampe A., Is Golfenergie voordeliger dan Windenergie?, Scriptie, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Gent, België, 2007
- [4] La Regina, V., Neumann, F., Sarmento, A. J. N. A., Lisbon, Portugal, September, 2005
- [5] IEA, International Energy Agency, Renewables Information, 2005
- [6] De Backer, G., Golfenergie op het Belgisch Continentaal Plat: droom of werkelijkheid?, Gent, Juni, 2005
- [7] CRES (Centre for Renewable Energy Sources), Wave Energy Utilization in Europe, current Status and Perspectives, Pikermi, Greece, 2002
- [8] WaveNet, Financing and Economics, March, 2003
- [9] Lovdal, N., Sarmento, A., Neumann, F., Internationalization within the Ocean Energy Industry – a Remedy for entrepreneurial Challenges?, Trondheim, Norway, 2007
- [10] Beels, C., De Rouck, J., Verhaeghe, H., Geeraerts, J., Dumon, G., Wave Energy on the Belgian Continental Shelf, Ghent, 2007
- [11] IEA, International Energy Agency, Status and Research and Development Priorities, Wave and Marine Current Energy, UK, 2003
- [12] Tedd J., Testing Analysis and Control of the Wave Dragon Wave Energy Converter, Aalborg, November, 2007
- [13] The European Marine Energy Centre Ltd, EMEC Orkney  
<http://www.emec.org.uk>
- [14] Pelamis Wave Power Ltd, constructeur Pelamis  
<http://www.pelamiswave.com>
- [15] Bedard R., Hagerman G., E2I EPRI Assessment, Offshore Wave Energy Conversion Devices, US, June, 2004
- [16] Cruz J., Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives, 2008
- [17] Carbon Trust, Future Marine Energy, Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy
- [18] Idaho National Laboratory, Hydropower  
<http://hydropower.id.doe.gov>
- [19] Power Technology

---

<http://www.power-technology.com>

- [20] WAVEenergy AS  
<http://www.waveenergy.no> en <http://www.wavessg.com>
- [21] Margheritini L., Kofoed J.P., Frigaard P., Status and Performance of the SSG Wave Energy Converter, Aalborg, 2006
- [22] Margheritini L., Frigaard P., The SSG Wave Energy Converter and Application on the Breakwater of the new Liseleje Harbour, Aalborg, Denmark, August, 2007
- [23] Margheritini L., Seawave Slot-Cone Generator (SSG), Aalborg, Denmark, 2003
- [24] Kofoed J. P., Vertical Distribution of Wave Overtopping for Design of Multi Level Overtopping based Wave Energy Converters, Aalborg, Denmark, 2006
- [25] Kofoed J. P., Vicinanza D., Estimation of Design Wave Loads on the SSG WEC Pilot Plant based on 3-D model test, Aalgaard, Norway, 2006
- [26] Wave Dragon ApS  
<http://www.wavedragon.net>
- [27] Hald T., Friis-Madsen E., Strategy for regulating the Crest free Board of a floating Wave Energy Converter, Aalborg, 2001
- [28] Kramer M., Frigaard P., Efficient Wave Energy Amplification with Wave Reflectors, Aalborg, Denmark, 2002
- [29] Nielsen A., Kofoed J. P., The Wave Dragon, Evaluation of a Wave Energy Converter, Aalborg, Denmark, 1997
- [30] Christensen L., Friis-Madsen E., Kofoed J., Tedd J., World Largest Wave Energy Project 2007 in Wales, Denmark, PowerGen 2006 European conference, 2006
- [31] Andersen T. L., Tedd J., Kramer M., Kofoed J. P., Impact of Wave Dragon on Wave Climate, Aalborg, Denmark, April, 2006
- [32] Soerensen H. C., Hansen R., Friis-Madsen E., Panhauser W., Mackie G., Hansen H. H., Frigaard P., Hald T., Knapp W., Keller J., Holmén E., Holmes B., Thomas G., Rasmussen P., Krogsgaard J., The Wave Dragon, now ready for Test in Real Sea, Aalborg, Denmark, 2001
- [33] SPOK & EMU Consult  
<http://www.spok.dk> en <http://www.emu-consult.dk>
- [34] Tedd J., Kofoed J. P., Knapp W., Friis-Madsen E., Sorensen H.C., Wave Dragon, Prototype Wave Power Production, Aalborg, 2007
- [35] Beels C., Henriques J. C. C., De Rouck J., Pontes M.T., De Backer G., Verhaeghe H., Wave Energy Resource in the North Sea, 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, 11-14 September, 2007
- [36] Beels C., Verhaeghe H., De Rouck J., Wave Power Resource of the West European Coast, 1-56 Ghent, May, 2006
- [37] Ministerie van Verkeer en Waterstaat Nederland, Golfklimaat  
<http://www.golfklimaat.nl>
- [38] Beels C., Definition of Sea States, Ghent, January, 2007
- [39] Cornett A. M., A Global Wave Energy Resource Assessment, Ottawa, 2008

- 
- [40] De Rouck J., Zee- en Havenbouw, Syllabus, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Gent, België, Hoofdstuk 4, 2007
- [41] Pizer D. J., Retzler C., Henderson R. M., Cowieson F. L., Shaw M. G., Dickens B., Hart R., Pelamis WEC - Recent Advances in the numerical and experimental modelling Programme, Glasgow, UK, September, 2005
- [42] Sorensen, H. C., et al., Sea Testing and Optimisation of Power Production on a Scale 1 : 4,5 Test Rig of the Offshore Wave Energy Converter Wave Dragon, Final technical Report, Denmark, June, 2006
- [43] Harrison G. P., Wallace R. A., A Changing Climate for Wave Energy. Proceedings of the 6th European Wave and Tidal Energy Conference, Glasgow, UK, 203-207, 2005
- [44] Harrison, G. P., Wallace R. A., Climate Sensitivity of Marine Energy. Renewable Energy 30, Edinburgh, UK, 1801-1817, 2005
- [45] Wang, X. L., Sweirs, F., Swail, V. R., North Atlantic Ocean Wave Climate Change Scenarios for the Twenty-First Century. Global Atmosphere and Ocean System, 6, 121-163, 2004
- [46] Hansen H. S., GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development. Proceedings of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 75-78, 2005
- [47] Mertens, T., Golfenergie op het Belgisch Continentaal Plat: Droom of Werkelijkheid? Analyse van het Golfklimaat, Scriptie, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Gent, België, 2005
- [48] Beheerseenheid van het Mathematische Model van de Noordzee  
<http://www.mumm.ac.be>
- [49] Provincie West-Vlaanderen, Geoloket, natuurbeleid  
<http://www.giswest.be>
- [50] Noordzeeloket, Noordzeeatlas, Nederland  
<http://www.noordzeeloket.nl> en <http://www.noordzeeatlas.nl>
- [51] Prest R., Daniell T., Ostendorf B., Using GIS to evaluate the impact of exclusion zones on the connection cost of wave energy to the electricity grid, Elsevier, Australia, November, 2006
- [52] Meteonet, Nederland  
<http://www.meteonet.nl>
- [53] Radio Centraal (Webgang, Zee-ijs)  
<http://www.radiocentraal.be>
- [54] BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie), Duitsland  
<http://www.bsh.de>
- [55] Herman S.A., Pierik J.T.G., ECN projectnummer 7.4355, in opdracht van Novem, ordernummer 2021-03-30-50-005, p12
- [56] Gerdes G., Tiedemann A., drs. Zeelenberg S., Case Study: European Offshore Wind Farms - A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms - Final Report, Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, The Netherlands
- [57] Nobre A., Pacheco M., Raquel J., Lopes M. F. P., Gato L. M. C., Geo-Spatial Multi-Criteria Analysis for Wave Energy System Deployment, 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, Lisbon, 11-14, September, 2007

- 
- [58] Kofoed J. P., Madsen E. F., Soerensen H. C., Christensen L., Hydrokinetic Technologies Technical and Environmental Issues Workshop the Wave Dragon Case, Washington DC, US, October, 2005
- [59] Conner P.M., Wave Energy: Going down the Tube?, School of Geography, Archaeology and Earth Sciences, University of Exeter, United Kingdom, TR10 9EZ
- [60] Horns Rev Offshore Wind Farm, Environmental Impact Assessment, Summary of EIA Report, May, 2000
- [61] Decision Support: Decision Strategy Analysis, ArcGIS, paper, Faculteit Geografie, Gent, België, 145 – 154, 2008
- [62] ESPO (European Sea Ports Organisation v.z.w/a.s.b.l)  
<http://www.espo.be>
- [63] BODC (British Oceanographic Data Centre), UK  
<http://www.bodc.ac.uk>
- [64] Callaro, F., Ciraolo, L., A Multi-Criteria approach to evaluate Wind Energy Plants on an Italian Island, Campobasso, Italy, 2005
- [65] Yue, C.-D., Wang, S.-S., GIS-based Evaluation of multifarious local renewable Energy Sources: a Case Study of the Chigu Area of southwestern Taiwan, Taiwan, 2004.
- [66] De Maeyer Ph., GIS-toepassingen, Lespresentatie, Vakgroep Geografie, Faculteit Wetenschappen, Gent, België, 2008
- [67] ESRI, GIS and Mapping Software  
<http://www.esri.com>
- [68] Ydens I., Meirschaeft V., Handleiding: Starten met ArcGIS 9.2, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Gent, België, 2008
- [69] Transmission Issues for Offshore Wind Farms with Specific Application to Siting of the Proposed Cape Wind Project, gebaseerd op Limitations of Long Transmission Cables for Offshore Wind Farms, ESS, Inc., consultants to Cape Wind Associates, LLC
- [70] ABB, kabelleverancier  
<http://www.abb.com>
- [71] Schneider Electric, België  
<http://mt.schneider-electric.be>
- [72] Eaton Holec, Nederland  
<http://www.holec.nl>
- [73] Canadian Copper & Brass Development Association  
<http://www.ccbda.org>
- [74] Network Connection Offshore Wind farms, International Energy Agency (IEA), ABB, DTI London, June, 2007
- [75] Larruskain D.M., Zamora I., Mazón A.J., Abarrategui O., Monasterio J., Transmission and Distribution Networks: AC versus DC, Department of Electrical Engineering, Bilbao, Spain
- [76] Weissensteiner L., Obersteiner C., Prüggl W., Auer H., Grid infrastructure regulation incentivising large scale wind power integration, Energy Economics Group (EEG), Vienna University of Technology, Austria, May, 2007

- 
- [77] Deme, Dredging Environmental and Marine Engineering N.V.  
<http://www.deme.be>
- [78] de Groot R.A.C.T., Jansen C.P.J., Aansluiting van 6.000MW offshore windvermogen op het Nederlandse elektriciteitsnet, Deel 1: net op zee, Arnhem, Nederland, oktober, 2003
- [79] Soerensen H., Hansen R., Low-pressure Hydro Turbines and Control Equipment for Wave Energy Converters (Wave Dragon), Final Publishable Report, EMU, JOR3-CT98-7027, juni, 2001
- [80] Elia, beheerder Belgisch hoogspanningsnet  
<http://www.elia.be>
- [81] Tennet, beheerder van 380- en 220 kV hoogspanningsnet, Nederland  
<http://www.tennet.nl>
- [82] E.ON  
<http://www.eonnetz.com>
- [83] Van Landeghem H., Inleiding tot industrieel beheer, Syllabus, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Gent, België, les 6: Investeringsanalyse, 2006
- [84] Previsic M., System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant, San Francisco, US, December, 2004, EPRI
- [85] Batten W. M. J., Bahaj A. S., An Assessment of Growth Scenarios and Implications for Ocean Energy Industries in Europe, Southampton, UK, 2007
- [86] OPD, Ocean Power Delivery, Pelamis WEC, Conclusion of Primary R & D, Final Report, UK, 2004
- [87] Van Landeghem R., Maling complex Decisions using Option Analysis, facult., Gent, België, September, 1986
- [88] InfoNu, online bibliotheek, Nederland  
<http://www.info.nl>
- [89] Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie  
<http://www.economie.fgov.be>
- [90] BERR, Department for Business Enterprise & Regulatory Reform, Wave Dragon Representations to the DTI Energy Review, UK, januari, 2008
- [91] Previsic M., Bedard R., Hagerman G., Offshore Wave Energy Conversion Devices (EPRI), June, 2004
- [92] EWEC
- [93] Stroomtarieven in België  
<http://www.stroomtarieven.be>
- [94] VREG, Vlaamse Reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt  
<http://www.vreg.be>
- [95] TWA Netwerk, Special: Duurzame Energie, Jaargang 42, nr. 1 Maart, 2004  
<http://twanetwerk.nl>
- [96] Thuesen G. J., Fabrycky W. J., Engineering Economy, Uitgeverij Prentice Hall, New Jersey, USA, 1993

- 
- [97] Carbon Trust, Cost Estimation Methodology, The Marine Energy Challenge Approach to estimating the cost of energy produced by marine energy systems, UK, May, 2006
- [98] Munoz M., Oschman V., Tabara J.D., Harmonization of renewable Electricity feed-in laws in the European Union, Energy Policy 35(5),3104-3114, 2007
- [99] Midttun A., Gautesen K., Feed in or Certificates, Competition or Complementarily? Combining a static Efficiency and a dynamic Innovation Perspective on the greening of the Energy Industry, Energy Policy 35(5), 1419-1422, 2007
- [100] Pöyry, Compliance Costs for meeting the 20 % renewable Energy Target in 2020, March2008



---

# Lijst van figuren

Figuur II-1: De werking van een point absorber [13] .....	5
Figuur II-2: De werking van een attentuator [13] .....	5
Figuur II-3: 4 types golfenergieconvertoren volgens [13] .....	6
Figuur II-4: Conversiemodule van de Pelamis [14].....	6
Figuur II-5: De drie conversiemodules van de Pelamis in zij- en bovenaanzicht [18] .....	7
Figuur II-6: Assemblage van de Pelamis en transport naar zee [14].....	8
Figuur II-7: Werkingsprincipe van de Seawave Slot-Cone Generator [20].....	8
Figuur II-8: De meertrapsturbine van de SSG [20].....	9
Figuur II-9: Installatie van de SSG in een golfbreker [20] .....	9
Figuur II-10: Installatie van de SSG onshore [20].....	10
Figuur II-11: Installatie van de SSG offshore (vaststaand type) [20] .....	10
Figuur II-12: Een schaalmodel van de SSG [23].....	11
Figuur II-13: Schets van de Wave Dragon voor een reservoiroppervlakte van 1.745 m <sup>2</sup> [27].....	12
Figuur II-14: Werkingsprincipe van de Wave Dragon [27] .....	12
Figuur II-15: Verankeringsstelsel van de Wave Dragon [30].....	13
Figuur II-16: Schaalmodel 1:50 te Aalborg [33].....	14
Figuur II-17: Schaalmodel 1:4,5 te Nisum Bredning [33].....	14
Figuur III-1: Meetboeien op het BCP, NCP en DCP .....	17
Figuur III-2: Maandelijkse variatie van het golfvermogen (in kW/m).....	23
Figuur III-3: Sectoren gebruikt voor golfboeimeetgegevens (links: 8 sectoren; rechts: 16 sectoren) .....	24
Figuur III-4: Herschaling piekperioden (diagram 2) en golfhoogten (diagram 3) van de power matrix .....	25
Figuur III-5: Power matrix van de Pelamis (in kW) [3].....	26
Figuur III-6: Vergelijking van de methode zonder, met vaste en met variabele diffractiecoëfficiënt.....	30

---

Figuur III-7: Beschikbare golfvermogen [kW/m] na uitsluiting van de beperkingen op het BCP, NCP en DCP .....	31
Figuur III-8: Bepaling van het beschikbaar golfvermogen [kW/m] op een afstand van 30 km van de kust voor het BCP .....	32
Figuur III-9: Power matrix van de SSG (in kW) [20].....	34
Figuur III-10: Power matrix voor de Wave Dragon (in kW) [42].....	38
Figuur IV-1: Verdeling van het Continentaal Plat van de Noordzee.....	43
Figuur IV-2: Voorstellingswijze BCP, NCP en DCP .....	44
Figuur IV-3: Scheepvaartroutes en ankerplaatsen met buffer op het BCP, NCP en DCP .....	45
Figuur IV-4: Zand- en schelpwingebieden en afvalzones op het BCP, NCP en DCP .....	47
Figuur IV-5: Militaire en munitiegebieden op het BCP, NCP en DCP .....	48
Figuur IV-6: Kabels in de Noordzee.....	49
Figuur IV-7: Overzicht van de windmolenparken op het BCP, NCP en DCP .....	51
Figuur IV-8: Scheepswrakken op het BCP en NCP .....	52
Figuur IV-9: Isothermen in de Noordzee tijdens februari 1979, BSH [54].....	54
Figuur IV-10: De beperkingen op BCP, NCP en DCP .....	57
Figuur V-1: Grafische voorstelling van vergelijking (V-1).....	59
Figuur V-2: Beschikbare gemiddelde jaarlijkse golfvermogen [kW/m] in Europa. De kaart is gebaseerd op data van het ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) WAM model archief en worden gekalibreerd en gecorrigeerd (door OCEANOR) met een globale boei en Topex satelliet hoogtemeter databank.....	61
Figuur V-3: Het geproduceerde golfvermogen [kW] voor de Pelamis op het BCP, NCP en DCP ....	61
Figuur V-4: Visualisatie van de factor afstand tot de kust.....	63
Figuur V-5: Visualisatie van de factor afstand tot de gridconnectie .....	65
Figuur V-6: Visualisatie van de factor afstand tot de haven .....	66
Figuur V-7: Gemiddelde diepte van de Noordzee op het BCP, NCP en DCP .....	67
Figuur V-8: Scores horende bij de factor bathymetrie voor de Pelamis.....	68
Figuur V-9: Bodemtypes op het BCP, NCP en DCP.....	69
Figuur V-10: Scores horende bij de factor extreme omstandigheden voor de Pelamis.....	71

---

Figuur V-11: Maximaal opgemeten golfhoogte op het BCP, NCP en DCP.....	71
Figuur V-12: Scores horende bij de factor maandelijkse variatie van het golfvermogen voor de Pelamis.....	73
Figuur V-13: Maandelijkse variatie van het golfvermogen uitgedrukt in MV [-] op het BCP, NCP en DCP .....	73
Figuur V-14: Scores horende bij de factor bathymetrie voor de SSG .....	76
Figuur V-15: Scores horende bij de factor richtingsafhankelijkheid voor de SSG.....	79
Figuur VII-1: Rasterdata [67] .....	97
Figuur VII-2: Vergelijking tussen de referentiesystemen ED50 (links) en WGS84 (rechts) [50]..	99
Figuur VII-3: Metadata van het bestand “bodem” .....	100
Figuur VII-4: De bewerking “Erase”.....	101
Figuur VII-5: De bewerking “Union” .....	101
Figuur VII-6: De bewerking “Buffer” .....	101
Figuur VII-7: Georefereren: plaatsen van de te georefereren figuur .....	102
Figuur VII-8: Geogerefereerde figuur met een 2 <sup>de</sup> orde kromming.....	103
Figuur VII-9: Beperkingen op het Belgische Continentaal Plat.....	105
Figuur VII-10: Opbouw van een model .....	106
Figuur VII-11: Gebruikersinterface met als variabele: input- en outputdata.....	107
Figuur VII-12: De bewerking “Clip” .....	108
Figuur VII-13: Toegelaten gebieden voor de Pelamis op het BCP, NCP en DCP .....	109
Figuur VII-14: Het commando “Multiple buffer ring” toegepast op de gridconnecties .....	110
Figuur VII-15: Thiessen polygonen op basis van de meetboeien.....	111
Figuur VII-16: Resultaat van de Pelamis met het gewicht van het golfvermogen = 38 .....	113
Figuur VII-17: Resultaat van de Pelamis op basis van de gewichten uit [57] .....	115
Figuur VII-18: Resultaat van de Pelamis op basis van de gewichten uit [3].....	116
Figuur VII-19: Resultaat van de Pelamis op basis van de zelf geschatte gewichten.....	117
Figuur VII-20: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van het golfvermogen van 60 en 20 .....	119

---

Figuur VII-21: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van het grid van 50 en 10 .....	121
Figuur VII-22: Totaalscores voor de Pelamis bij een gewicht van de extreme omstandigheden van 30 en 0 .....	123
Figuur VII-23: Gekozen locatie voor de installatie van een golfenergieconverteerpark van Pelamissen (DCP) .....	125
Figuur VII-24: Meest geschikte locatie op het NCP (links) en op het BCP (rechts) voor de Pelamis .....	125
Figuur VII-25: Meest geschikte locaties voor de Pelamis indien de bouw binnen de 12-mijlszone is toegestaan .....	126
Figuur VII-26: Aanwezige kabels in de buurt van de gekozen locaties .....	127
Figuur VII-27: Toelaatbare gebieden voor de SSG .....	128
Figuur VII-28: Totaalscores voor de SSG langs de Duitse havens Cuxhaven, Bremerhaven, Emden en Delfzijl .....	129
Figuur VII-29: Totaalscores voor de SSG langs de Nederlandse haven Scheveningen .....	130
Figuur VII-30: Totaalscores voor de SSG langs de Belgische havens Zeebrugge en Oostende ....	130
Figuur VII-31: Gekozen locatie voor de installatie van een SSG .....	131
Figuur VII-32: Windmolenparken op het BCP, NCP en DCP .....	132
Figuur VII-33: Toelaatbare gebieden binnen de 12-mijlszone .....	133
Figuur VII-34: Totaalscores voor de Wave Dragon bij de windmolenparken in Duitsland .....	135
Figuur VII-35: Totaalscores voor de Wave Dragon bij de windmolenparken in Nederland en België .....	135
Figuur VII-36: Totaalscores voor de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone op DCP en NCP .....	136
Figuur VII-37: Totaalscores voor de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone in Nederland en België .....	137
Figuur VII-38: Gekozen locatie voor de plaatsing van een schaalmodel van de Wave Dragon nabij een windmolenpark .....	138
Figuur VII-39: Gekozen locatie voor de plaatsing van een schaalmodel van de Wave Dragon binnen de 12-mijlszone .....	139
Figuur VIII-1: Vergelijking investeringskosten AC en DC [70] .....	141
Figuur VIII-2: Doorsnede van een 3-fasige solid dielectric kabel met XPLE [70] .....	142

---

Figuur VIII-3: Gridconnecties langs de kusten van België, Nederland en Duitsland.....	147
Figuur VIII-4: Schets van een kabellegschip [56].....	149
Figuur VIII-5: Plaatsen van een kabel m.b.v. een ploeg [77] .....	150
Figuur VIII-6: Afmetingen van een baggersleuf.....	151
Figuur VIII-7: De aanlanding voorzien door C-power [56].....	152
Figuur VIII-8: De connectie tussen een golfenergieconverteorpark en het elektriciteitsnet [79] .....	152
Figuur VIII-9: Constructie en installatie van een offshore transformatorstation [56].....	154
Figuur VIII-10: Verband tussen het actieve en het reactieve vermogen.....	155
Figuur VIII-11: Verdeling van het hoogspanningsnet in Duitsland [82] .....	156
Figuur IX-1: Leercurve voor 2.000 golfenergieconvertoren met een PR van 85, 90 en 95 %.....	161
Figuur IX-2: Voorbeeld van een S-curve (Nederland).....	162
Figuur IX-3: Elektriciteitsprijzen in Europa [93] (mei 2008).....	174
Figuur IX-4: Ligging van de Pelamissen in een park.....	179
Figuur IX-5: Gekozen locatie voor de installatie van een golfenergieconverteorpark van Pelamissen (DCP).....	180
Figuur IX-6: S-Curve voor gebied 1 in Duitsland.....	184
Figuur IX-7: S-Curve voor gebied 2 in Duitsland.....	186
Figuur IX-8: S-curve voor Nederland .....	190
Figuur IX-9: S-curves voor de beschouwde locaties (BCP en NCP).....	191

---

# Lijst van tabellen

Tabel II-1: Geometrische kenmerken en productie voor modellen van de Wave Dragon [26].....	15
Tabel III-1: Meetboeien op het Belgisch Continentaal Plat [35], [36] .....	16
Tabel III-2: Meetboeien op het Duits Continentaal Plat [35], [36].....	16
Tabel III-3: Meetboeien op het Nederlands Continentaal Plat [35], [36], [37].....	17
Tabel III-4: Scatter diagram te Westhinder (in %)......	18
Tabel III-5: Golfvermogen per 2 maanden (in kW/m) in België en Nederland.....	22
Tabel III-6: Beschikbare golfvermogens per sector in België, Nederland en Duitsland (in kW/m) .....	24
Tabel III-7: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v. van de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen zonder diffractiecoëfficiënt.....	28
Tabel III-8: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen met vaste diffractiecoëfficiënt.....	29
Tabel III-9: Geproduceerd vermogen en verlies (t.o.v. de vorige rij) bij meerdere rijen Pelamissen met variabele diffractiecoëfficiënt.....	30
Tabel III-10: Geproduceerde vermogens per meetboei voor de SSG (in kW).....	37
Tabel III-11: Geproduceerde vermogens voor vaste golfhoogte en vaste piekperiode per meetboei voor de Wave Dragon (in kW).....	39
Tabel III-12: Werkingsgrenzen van de Pelamis, de SSG en de Wave Dragon.....	40
Tabel V-1: Geproduceerd vermogen per meetboei op het BCP, NCP en DCP voor de Pelamis.....	62
Tabel V-2: Scores horende bij de factor afstand tot de kust voor de Pelamis.....	64
Tabel V-3: Scores horende bij de factor afstand tot de haven voor de Pelamis .....	66
Tabel V-4: Scores horende bij de factor diepte voor de Pelamis.....	68
Tabel V-5: Scores horende bij de factor bodemgesteldheid voor de Pelamis.....	69
Tabel V-6: Extreme golfhoogten horende bij de meetboeien .....	70
Tabel V-7: Maandelijkse variabiliteitsindex per meetboei .....	72
Tabel V-8: Geproduceerd vermogen van de SSG bij verschillende dieptes.....	75

---

Tabel V-9: Scores horende bij de factor afstand tot de gridconnectie voor de SSG.....	76
Tabel V-10: Beschikbare golfvermogens per sector per meetboei (in kW/m).....	78
Tabel V-11: Directionele index per meetboei.....	79
Tabel V-12: Scores horende bij de factor geproduceerd vermogen met vaste golfhoogte voor de Wave Dragon.....	80
Tabel V-13: Scores horende bij de factor afstand tot de kust voor de Wave Dragon.....	81
Tabel V-14: Scores horende bij de factor afstand tot het grid voor de Wave Dragon.....	82
Tabel V-15: Overschrijdingsfrequentie per meetboei.....	83
Tabel VI-1: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis volgens [57].....	85
Tabel VI-2: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis volgens [3] .....	86
Tabel VI-3: Graden van belangrijkheid volgens [61] .....	88
Tabel VI-4: Vergelijkingsmatrix volgend uit een eigen schatting (stap 1) voor de Pelamis.....	88
Tabel VI-5: Vergelijkingsmatrix volgend uit een eigen schatting (stap 2) voor de Pelamis.....	90
Tabel VI-6: Overzicht van de gewichten op basis van een eigen schatting .....	90
Tabel VI-7: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis .....	91
Tabel VI-8: Vergelijkingsmatrix voor de SSG.....	91
Tabel VI-9: Overzicht van de gewichten voor de SSG.....	92
Tabel VI-10: Overzicht van de gewichten voor de Wave Dragon.....	93
Tabel VII-1: Datatypes binnen ArcGIS .....	98
Tabel VII-2: Coördinaten in geografisch WGS84 van de meetboeien van België, Nederland en Duitsland.....	104
Tabel VII-3: Overzicht van de gewichten voor de Pelamis.....	114
Tabel VII-4: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor golfvermogen .....	118
Tabel VII-5: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van het golfvermogen .....	119
Tabel VII-6: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor grid.....	120
Tabel VII-7: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van het grid.....	120

---

Tabel VII-8: Gewichten van de factoren bij variatie van het gewicht van de factor extreme omstandigheden .....	122
Tabel VII-9: De meest geschikte locaties bij variërend gewicht van de extreme omstandigheden .....	122
Tabel VII-10: Scores en kenmerken van de gekozen locatie voor de Pelamis .....	124
Tabel VII-11: Overzicht van de gewichten voor de SSG.....	129
Tabel VII-12: Scores van de gekozen locatie voor de SSG .....	131
Tabel VII-13: Overzicht van de gewichten voor de Wave Dragon .....	134
Tabel VII-14: Scores van de gekozen locatie voor de Wave Dragon.....	138
Tabel VIII-1: Toepassingen van DC kabels [74] .....	144
Tabel VIII-2: Vermogens van DC kabels bij verschillende doorsneden en spanningsniveaus [70] .....	146
Tabel VIII-3: Verband tussen AC en DC kabels [75].....	146
Tabel VIII-4: Kostprijzen voor AC kabels [76].....	148
Tabel IX-1: Gebruikte wisselkoeren (\$, £ en €) .....	164
Tabel IX-2: Kostprijzen van de Pelamis.....	164
Tabel IX-3: Vermogens [MW] bij verschillende kabeltypes.....	167
Tabel IX-4: Kabelprijzen en specificaties.....	167
Tabel IX-5: NPV per Pelamis (gebied 1, DCP).....	181
Tabel IX-6: NPV bij de basis (gebied 1, DCP) .....	182
Tabel IX-7: Variaties van de NPV (DCP).....	183
Tabel IX-8: NPV per Pelamis (gebied 2, DCP).....	184
Tabel IX-9: NPV bij de basis (gebied 2, DCP) .....	185
Tabel IX-10: NPV per Pelamis (NCP).....	187
Tabel IX-11: NPV bij basis (NCP) .....	188
Tabel IX-12: Overzicht van de 3 besproken locaties op het DCP en NCP .....	191



